

electricidad
teórico-práctica
Transformadores
Máquinas eléctricas
de c.c. y c.a.
ediciones AFHA

electricidad
teorico-practica

Dentro de la colección Electricidad Teórico-Práctica este cuarto volumen es, quizás, el que ha requerido una elaboración más minuciosa.

Su temática — concreta en su contenido, pero muy extensa en información — nos ha obligado a un trabajo de selección encaminado a incluir en estas páginas los conocimientos capaces de cubrir los objetivos fijados de antemano :

Que el lector tuviese una visión concreta de los problemas técnicos a superar en la fabricación de lo que, en términos generales, denominamos máquinas eléctricas.

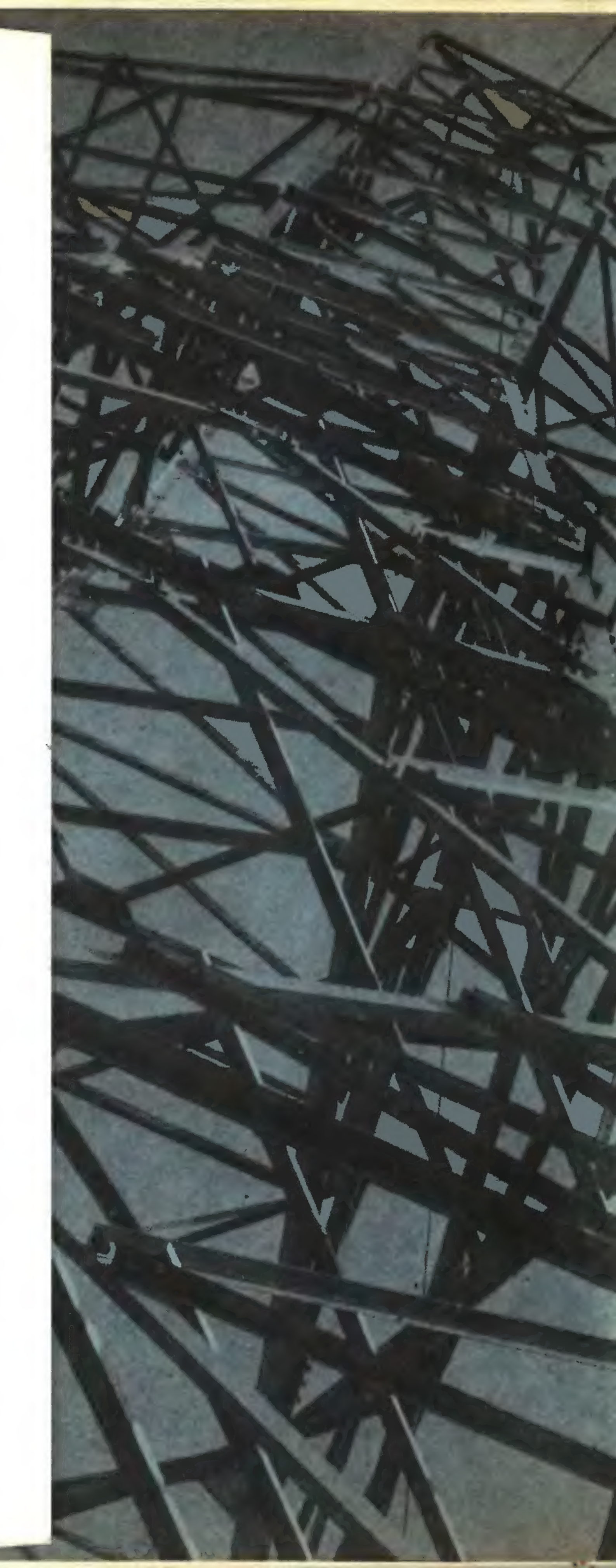
Que, conocidos estos problemas, llegase al conocimiento de los principios de funcionamiento de dichas máquinas.

Que, después del estudio de estas lecciones, estuviese en condiciones de descernir entre las ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de una misma familia de máquinas para escoger la más conveniente para una función específica.

Que, conocido el sistema eléctrico y la estructura mecánica de las máquinas eléctricas básicas, fuese capaz de prever y evitar sus posibles fallos o de orientar su reparación por el camino debido.

No era cosa fácil conseguir estos objetivos. Creemos haber encontrado el sistema que, es muy posible, haya hecho de esta obra un libro con acusada originalidad tanto en el contenido como en la forma, originalidad que hará pensar a muchos en un desprecio por lo que siempre se ha tenido por ortodoxo al enfocar estos temas.

Hemos procurado que esta obra resulte de interés para un amplio sector de población, entendiendo por tal a cuantos puedan sentirse atraídos por la temática del libro. Incluso hemos pensado en quienes tienen en su habilidad manual una fuente de recursos laborales o que, simplemente, encuentran en el campo de la actividad manual, un pasatiempo instructivo para sí y para los suyos. He ahí la justificación de las prácticas que acompañan y complementan las densas páginas de este libro.



electricidad

teórico-práctica

método ideado para aprender electricidad por sí mismo

electricidad teórico-práctica

tomo IV

Transformadores
Generadores de c. c. y c. a.
Motores eléctricos

ediciones  barcelona

El método AFHA de

electricidad teórico-práctica

comprende los siguientes títulos:

Tomo I	Fundamentos de electrotecnia. Instalaciones
Tomo II	Electroquímica. Electromagnetismo. Instalaciones domésticas
Tomo III	Corriente alterna. Principios de máquinas de c.c. y c.a. Instalaciones industriales
Tomo IV	Transformadores. Máquinas eléctricas de c.c. y c.a.
Tomo V	Canalizaciones eléctricas. Líneas y centrales Telecomunicaciones alámbricas
Tomo VI	Luminotecnia. Técnicas de la iluminación
Tomo VII	Electricidad del automóvil
Tomo VIII	Aparatos electrodomésticos

Edita: AFHA Internacional S.A. Maestro Nicolau, 4 Barcelona – Imprime: Lagranje, Cabanas, 14 Barcelona

Depósito Legal; B. 567 - 1963

IMPRESO EN ESPAÑA PRINTED IN SPAIN

prólogo

Dentro de la colección Electricidad Teórico-Práctica este cuarto volumen es, quizás, el que ha requerido una elaboración más minuciosa.

Su temática — concreta en su contenido, pero muy extensa en información — nos ha obligado a un trabajo de selección encaminado a incluir en estas páginas los conocimientos capaces de cubrir los objetivos fijados de antemano :

Que el lector tuviese una visión concreta de los problemas técnicos a superar en la fabricación de lo que, en términos generales, denominamos máquinas eléctricas.

Que, conocidos estos problemas, llegase al conocimiento de los principios de funcionamiento de dichas máquinas.

Que, después del estudio de estas lecciones, estuviese en condiciones de discernir entre las ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de una misma familia de máquinas para escoger la más conveniente para una función específica.

Que, conocido el sistema eléctrico y la estructura mecánica de las máquinas eléctricas básicas, fuese capaz de prever y evitar sus posibles fallos o de orientar su reparación por el camino debido.

No era cosa fácil conseguir estos objetivos. Creemos haber encontrado el sistema que, es muy posible, haya hecho de esta obra un libro con acusada originalidad tanto en el contenido como en la forma, originalidad que hará pensar a muchos en un desprecio por lo que siempre se ha tenido por ortodoxo al enfocar estos temas.

Este Tratado aspira a la formación técnica del electricista ; formación de tipo universal y no mera formación de especialización. Lo hemos repetido muchas veces : deseamos alcanzar una *formación suficiente,* capaz de situar al lector por el camino de una especialización integral sobre tal o cual rama de la electricidad.

En este sentido hemos orientado este volumen sobre máquinas eléctricas : atacando a fondo las cuestiones de índole general y añadiendo un extenso programa de información particular capaz de formar un criterio, de crear en el lector la conciencia de que está en posesión de una amplia gama de conocimientos teóricoprácticos que sólo necesitarán la circunstancia propicia (un adecuado ambiente profesional, por ejemplo) para cristalizar en hechos, en intervenciones directas, en éxitos.

Con esta idea por delante, resulta comprensible que el estudio de los generadores de corriente tenga un cariz más teórico en las lecciones dedicadas a las dínamos y mucho más descriptivo cuando se trata de estudiar los alternadores. El estudio de la dínamo encierra una serie de conceptos generales que forman el punto de apoyo para cuestiones de índole más particular que se repiten en todo tipo de máquinas.

Hemos procurado que esta obra resulte de interés para un amplio sector de población, entendiendo por tal a cuantos puedan sentirse atraídos por la temática del libro. Incluso hemos pensado en quienes tienen en su habilidad manual una fuente de recursos laborales o que, simplemente, encuentran en el campo de la actividad manual, un pasatiempo instructivo para sí y para los suyos. He ahí la justificación de las prácticas que acompañan y complementan las densas páginas de este libro.

La electricidad mueve al mundo a través de los millones de ejes que están en continua rotación impulsados por los fenómenos electromagnéticos. Saber cómo y por qué giran estos ejes representa entrar en un campo tecnológico de capital importancia en el mundo moderno.

Ayudarle a entrar en él por la puerta grande, más conseguir que pueda moverse en su interior con comodidad, es lo que esperamos conseguir con nuestro trabajo. Éste, sin duda, puede tener sus defectos ; pero tiene, lo aseguramos, la gran virtud del entusiasmo puesto en él por todo el equipo (técnicos, redactores y dibujantes) que han laborado para ofrecerle a usted, lector amigo, estas páginas impresas.

índice

Lección 19 - página 161

ELECTROTECNIA. — *Generadores de corriente alterna.* Introducción. El principio básico del alternador. Rotor y estator. Inductor de polos salientes e inductor de polos lisos. Datos constructivos para alternadores. Constitución de los estatores sometidos a flujos magnéticos variables. Fijación del empilado del estator en pequeños alternadores. Estatores para grandes alternadores. La carcasa. Estructura de los rotores sometidos a flujos magnéticos constantes. Rotores de polos salientes. Cuerpos de rotor. Piezas polares. Montaje de las piezas polares. Montaje de los arrollamientos. Realización de los arrollamientos. Tipos fundamentales de devanados para estatores. Conductores subdivididos a subdivisiones traspuestas. Barra Punga. Barra Roebell. Aislamiento de los arrollamientos. Aislamiento de los conductores unitarios. Separadores. Encintado. Aislamiento de las espiras. Aislamiento de masa. Aislamiento de las bobinas inductoras en máquinas síncronas. Aislamiento de las ranuras. Arrollamientos con hilo fino en ranuras semicerradas.

Arrollamiento de barras en dos capas. Arrollamiento de los rotores de máquinas sincrónicas. Organos de toma de corriente. Anillos colectores. Escobillas y portaescobillas. Algunos datos técnicos sobre alternadores. Velocidad sincrónica. Conexionado de los arrollamientos estatóricos. Bobinados estatóricos; sus tipos. Devanado de una sola capa. Devanado en dos capas. Tres cuestiones teóricas. PRÁCTICAS. — *Instrucciones para la construcción de un alternador monofásico.* Material necesario. Construcción del inducido. Construcción del inductor o rotor del alternador. Advertencia muy importante.

Lección 20 - página 217

ELECTROTECNIA. — *Motores de corriente alterna.* Motores de c.a. Clasificación. Teoría del campo magnético rotatorio. Campo magnético giratorio producido por dos corrientes defasadas 90°. El motor sincrónico. Sistemas de arranque. Ventajas de los motores sincrónicos. Motores asincrónicos o de inducción. Efectos de la carga sobre los motores asincrónicos. Sistemas de arranque en los motores asíncronos. Arranque con resistencias en serie. Arrancador estrella-triángulo. Arranque con autotransformador. Arranque con resistencias en serie con el rotor. Inducido en jaula de ardilla. El motor asincrónico sincronizado. Motor asincrónico monofásico. Motor monofásico con bobina auxiliar. Motor monofásico con arranque por resistencia. Motores de corriente alterna con colector. Motor universal. Motor monofásico de repulsión. Motor monofásico de repulsión compensada o motor Latour. Motores trifásicos de colector. Motor monofásico de espira en cortocircuito. Fórmulas de la potencia en los motores de c.a. Breve información gráfica sobre distintos tipos de motores. Formas constructivas normalizadas. Protecciones. Aislamiento de los motores. Motores protegidos contra explosiones o antideflagrantes. Lo que debe saber para escoger el motor necesario. ¿Cómo escoger un motor? INSTALACIONES. — *Recepción de los motores eléctricos.* Emplazamiento de los motores. Conexión a la línea. Sentido de giro. Empleo de aparatos de protección. Empleo de aparatos de maniobra. Medidas de seguridad. Puesta en marcha y parada. Perturbaciones de funcionamiento. Conservación y entretenimiento. PRÁCTICAS. — *Construcción de un pequeño motor universal.* Características. Construcción del motor. El estator. Bobinado del estator. El rotor. Bobinado del rotor. El colector. Los soportes. Montaje del conjunto. Las escobillas. Conexiones finales y apoyo.

apéndice I taller mecánico

Lección 7 - página 101

Herramientas y operaciones del torno. Velocidad de corte. Las herramientas. La forma del filo. Denominación DIN. Forma y notación DIN para filos de herramientas. Herramientas de filos constante. Barrenas. Portaherramientas. Calidad de la herramienta. Notación DIN. Denominación de una herramienta. Fijación de la herramienta al torno. Situación del filo. Longitud saliente de la cuchilla. Velocidad de corte. Afilado de las herramientas. Calzado de la herramienta. Rompevirutas. Acabado del filo. Herramientas de carburo metálico. Herramientas de acero rápido. Herramientas especiales. Recomendaciones.

apéndice II conocimiento de materiales

Lección 7 - Página 77

Aislantes sólidos. El caucho. El caucho vulcanizado. El caucho sintético. La ebonita. Aislantes textiles. El algodón. Seda natural. La seda artificial o rayón. El lino. El cáñamo. El yute. Los aislamientos textiles. Aislantes de base celulósica. La madera. La fibra. El papel. Cartón y papel presspan. La celofana. El celuloide. Etilcelulosa. Trolita.

Lección 8 - Página 89

Las resinas naturales. Clasificación de las resinas. Ambar. Colofonia. Copal. Goma laca. Laca. Resinas sintéticas. Resinas de cumarona. Resinas fenólicas. Resinas vinílicas. Resinas de urea. Resinas poliestirénicas. Resinas metacrílicas. Barnices. Barnices grasos. Barnices sintéticos. Barnices mixtos. Ensayos y pruebas de los barnices. Aceites aislantes. Ensayo de los aceites. Productos sustitutivos de los aceites.

apéndice III fichas técnicas

Colección fichas técnicas. Fichas 17 a 24 : Máquinas eléctricas.

ELECTRICIDAD

Campos magnéticos alternos
Bobinas con núcleo de hierro
Diagramas de las bobinas de reacción
Electroimanes para corriente alterna
Transformadores
Forma de los transformadores monofásicos
Funcionamiento del transformador monofásico
Transformadores polifásicos
Devanados



LECCION Nº 16

electrotecnia

16

Campos magnéticos alternos
Bobinas con núcleo de hierro
Diagramas de las bobinas de reacción
Electroimanes para corriente alterna
Transformadores
Forma de los transformadores monofásicos
Funcionamiento del transformador monofásico
Transformadores polifásicos
Devanados

CAMPOS MAGNETICOS ALTERNOS

En la lección décima de nuestro método quedó patente la importancia que tuvo para el desarrollo de la electrotecnia la experiencia de Faraday sobre la inducción electromagnética.

Al estudiar este fenómeno distinguimos entre la inducción dinámica (caso de una espira móvil en un campo magnético constante) y la inducción estática (espira fija en un campo magnético variable); y vimos que en ambos casos el resultado era el mismo: en la espira nacía una f.e.m. inducida.

También señalamos la posibilidad de la presencia de un campo magnético variable obtenido mediante una corriente continua, gracias a las sucesivas conexiones y desconexiones de la bobina. Recordemos que hablamos incluso de la aplicación de este fenómeno, una de las cuales es el sistema de encendido de las bujías de los motores de explosión.

Siguiendo con nuestra visión retrospectiva, interesa recordar que en la misma lección 10 esbozábamos el principio del transformador mediante corrientes alternas que creaban campos magnéticos variables; de acuerdo con la fórmula vista en la lección 8 al estudiar la intensidad del campo magnético (H) llegaremos a la conclusión de que, siendo:

$$H = 1'256 \frac{mi}{l}$$

cuando el valor de i (intensidad) varíe según una curva senoidal (se trataría de la intensidad de una corriente alterna senoidal) los distintos valores de H (intensidad del campo magnético) variarán también de acuerdo con una senoide.

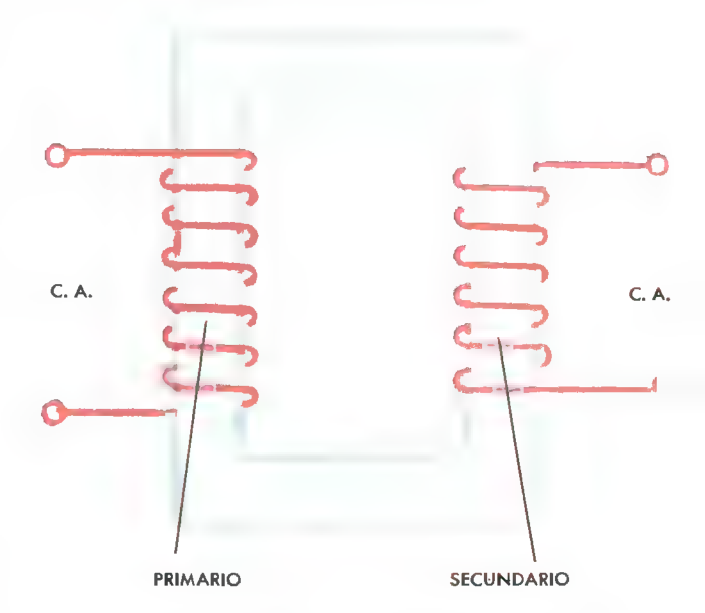
Y, por analogía, podemos decir lo mismo de la inducción:

$$B = \mu \times 1'256 \frac{mi}{l}$$

Resulta, pues, que una corriente alterna senoidal puede crear campos magnéticos, senoidales también, que nos permitirán trabajar con inducciones estáticas permanentes gracias al concurso de los campos variables creados por una corriente alterna.

Gracias a este fenómeno nacen los transformadores estáticos, formados por un núcleo de hierro y dos arrollamientos llamados primario y secundario.

Un transformador estático puede esquematizarse según el gráfico adjunto. Observe que si en él suprimimos un arrollamiento (el secundario, por ejemplo) estaremos en presencia de una bobina con núcleo de hierro.



El tema fundamental de esta lección es el estudio de los transformadores; pero, para llegar a ellos a través de su antesala lógica, deberemos empezar por el estudio de las bobinas con núcleo de hierro, de características propias debidas precisamente a la existencia del núcleo en cuestión.

BOBINAS CON NUCLEO DE HIERRO

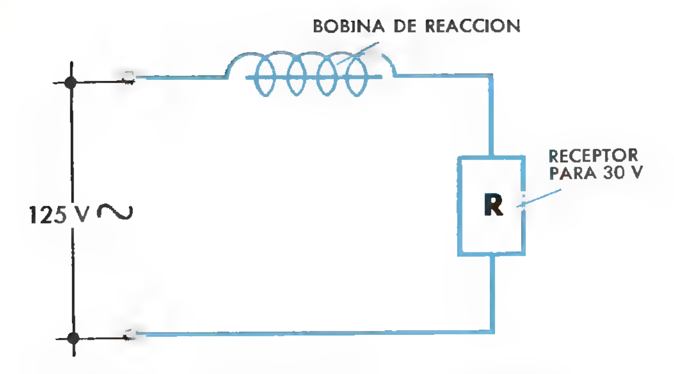
Estas bobinas se llaman también *bobinas de choque*, *reactancias* (éste es el nombre más usado) o *bobinas de reacción*.

Sus aplicaciones son múltiples, si bien su campo de acción pertenece más al dominio de la radiotecnia que al de la electricidad en el sentido tradicional de la palabra.

Sin embargo, en electrotecnia podemos señalar dos aplicaciones particularmente interesantes de las reactancias.

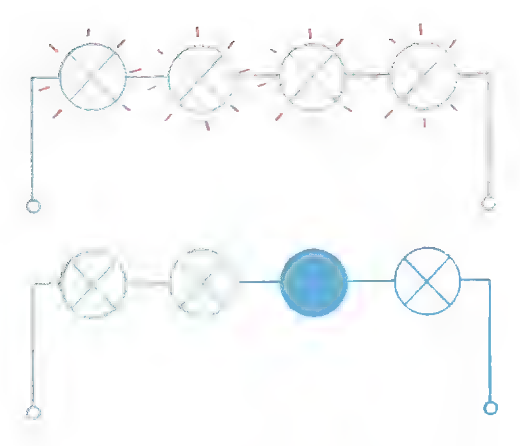
a) Para provocar una caida de tensión

Las reactancias actúan como reductoras de tensión cuando debe conectarse a la red un receptor que sólo admite una tensión de valor inferior al que proporciona.





Las bobinas de reacción pueden emplearse para provocar una caída de tensión.



Al fundirse una de las lámparas se interrumpe el circuito; se apagan todas.

b) Como puente en la conexión de receptores en serie

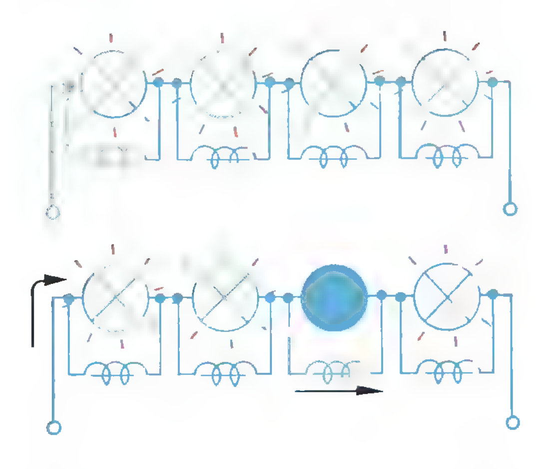
Usted sabe perfectamente que al fundirse uno cualquiera de una serie de receptores conectados en serie (lámparas, por ejemplo) se interrumpe el circuito, apagándose toda la serie.

Para subsanar este inconveniente se conecta en paralelo con cada elemento de la serie una bobina de reacción.

En caso de fundirse un elemento, los demás siguen funcionando gracias a que la corriente les llega a través de la reactancia.

En el primer caso, el empleo de una reactancia se justifica porque la reducción de la tensión resulta mucho más económica que empleando una resistencia óhmica; ya veremos eso.

En el segundo caso, las bobinas tienen la ventaja de consumir muy poca energía.



Con una reactancia en paralelo con cada lámpara no se interrumpe el circuito a pesar de la fusión de una de ellas.

SIMBOLOS PARA BOBINAS DE REACCION

Ha visto ya el símbolo que hemos empleado para la representación de este tipo de bobinas en esquemas técnicos. Lo repetimos a mayor tamaño para eliminar toda posible duda.

Sin embargo, es bastante usual verlas representadas por medio de otros dos símbolos.

Le recomendamos la primera representación, por ser la que ofrece un grafismo más simple.



Tres maneras de simbolizar una bobina con núcleo de hierro. De las tres, la primera es la más práctica.

ESTUDIO DE LAS BOBINAS DE REACCION

Pérdidas por histéresis y pérdidas por corrientes de Foucault

Cuando se conecta una bobina de reacción a una red de corriente alterna comprobamos, al cabo de un tiempo más o menos largo, que su núcleo se ha calentado.

Este caldeo del núcleo quiere decir que parte de la energía aplicada a la bobina se ha perdido en forma de calor; una de tantas transformaciones. Y estas pérdidas de energía deben tomarse en consideración.

¿Por qué razón se pierde energía?

No hay una razón única, sino dos, que responden a conceptos distintos:

a) Pérdidas por histéresis.

b) Pérdidas por corrientes parásitas o pérdidas por corrientes de Foucault.

Estas pérdidas reciben el nombre general de *pérdidas en el hierro* para diferenciarlas de las *pérdidas en el cobre,* debidas a efecto Joule, que vienen dadas por la expresión $W_{ac} = R \times I^2$, siendo R la resistencia de la bobina.

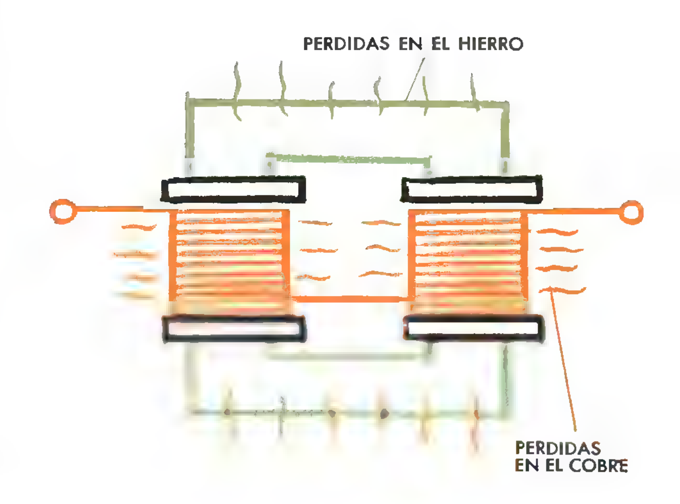
Es perfectamente lógico que se le ocurra pensar que, al calentarse el hilo de la bobina por efecto Joule, el calor pasará al hierro del núcleo, el cual experimentará también un cierto calentamiento. Si le ha venido este pensamiento, ¡cuidado!

Debe quedar bien claro que aquí no tienen nada que ver lo que son pérdidas en el cobre con lo que son pérdidas en el hierro. El núcleo se calienta debido a fenómenos nacidos de su misma naturaleza. Digamos, en lenguaje llano, que el hierro se calienta por sí solo. Veamos cómo:

a) Por histéresis.

Cuando en nuestra séptima lección hablábamos del fenómeno de la histéresis magnética, acabamos diciendo: «Durante el proceso de histéresis observamos que la varilla sometida al campo magnético *variable en intensidad* se ha calentado, lo que representa una *pérdida de energía.*»

Sabemos, en efecto, que al someter un cuerpo a la acción de un campo magnético los magnetones se orientan según las líneas de fuerza del campo. Hay un movimiento de masas que no puede producirse sin consumo de energía. La práctica lo demuestra, ya que imantando y desimantando sucesivamente un trozo de hierro, su temperatura aumenta; la energía consumida para mover los magnetones se transforma en calor.



En una bobina de reacción debemos considerar dos tipos de pérdidas de energía: las pérdidas en el hierro y las pérdidas en el cobre.

No es fácil establecer una fórmula concreta para el cálculo de esta energía perdida, circunstancia que prueba el hecho de haberse presentado varias fórmulas empíricas. Las más utilizadas son las de Steinmetz y, sobre todo, la de Richter, que recomendamos por proporcionar mayor simplicidad al cálculo:

$$W_H = \frac{\varepsilon\ f}{100} \times \frac{B}{10000}{}^2 \times G$$

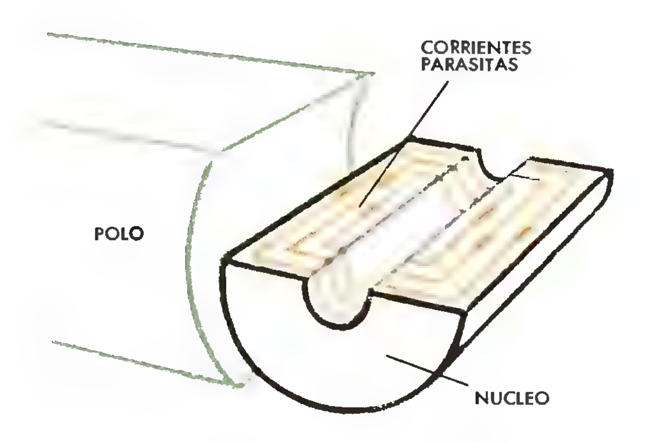
Esta fórmula da buenos resultados para inducciones comprendidas entre 10.000 y 16.000 gauss. Para un margen que llega hasta los 20.000 gauss, los resultados que proporciona pueden considerarse, si no buenos, sí dentro de la categoría de lo aceptable.

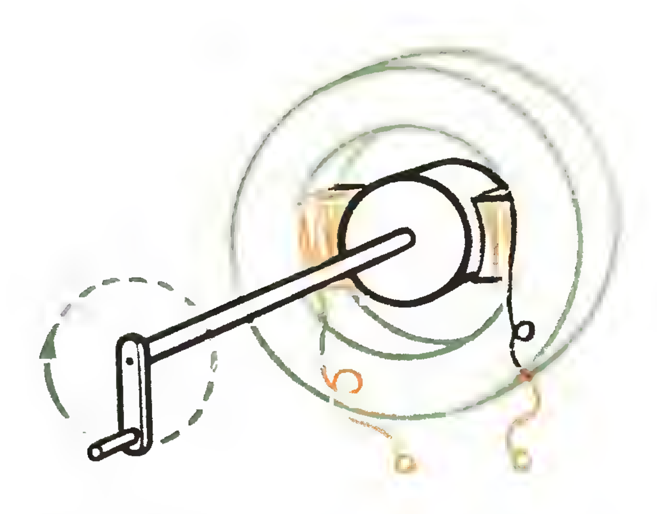
En esta fórmula barajamos los siguientes factores:

W_H = Pérdidas por histéresis, en vatios.
ε = Coeficiente (ver tabla) que depende de la calidad y espesor de la chapa del núcleo
f = Frecuencia de la corriente, en Hz.
B = Inducción máxima en el núcleo, en gauss.
G = Peso del núcleo de hierro en Kg.

TABLA DE VALORES DE ε

NUCLEO	ESPESOR DE LA CHAPA (en mm)	ε
CHAPAS PARA DINAMOS	1	4'4
	0'5	4'4
	0'35	4'7
CHAPA ALEADA PARA ALTERNADORES Y TRANSFORMADORES	0'5	3
	0'35	2'4





Las corrientes parásitas crean fuerzas que se oponen al movimiento de las masas metálicas.

b) Pérdidas por corrientes parásitas o de Foucault

El origen de estas pérdidas está en la aparición de una f.e.m. inducida en el núcleo, siempre que dicho núcleo se mueva dentro de un campo magnético constante o siempre que un campo magnético variable atraviese el núcleo en cuestión.

Y aunque esta f.e.m. de inducción es muy pequeña, puede proporcionar elevadas intensidades: basta con que la resistencia del núcleo sea lo suficientemente pequeña para que, de acuerdo con la ley de Ohm, aumente la intensidad ($I = \frac{V}{R}$) y se originen corrientes parásitas, denominadas de Foucault, con marcada influencia. Es lo que ocurre en los núcleos magnéticos de dínamos, alternadores, transformadores, etc., con grandes secciones metálicas y, en consecuencia, con muy poca resistencia.

Estas corrientes, en núcleos móviles, originan fuerzas que se oponen al movimiento. Este *roce* de fuerzas opuestas es lo que origina el calentamiento del núcleo; en definitiva representa una nueva fuerza que debe vencerse al mover el núcleo. Es energía perdida.

En los núcleos de transformadores, los efectos de estas corrientes se oponen a los que origina la corriente de la bobina (efectos aprovechables), los que deberán reforzarse para vencer esta oposición. Es, como puede ver, un proceso similar al de las corrientes inducidas.

Quedan explicadas las pérdidas por corrientes de Foucault; pero así como las pérdidas por histéresis son inevitables y de muy difícil reducción (sólo pueden disminuirse utilizando chapa especial, que no siempre es adecuada para la construcción de máquinas), las pérdidas debidas a las corrientes parásitas pueden reducirse considerablemente aplicando un sencillo ardid al construir el núcleo.

Se trata de fraccionar el núcleo en pequeños elementos aislados entre sí. Por eso habrá observado que los inducidos de dínamos y alternadores (núcleos que se mueven en campos magnéticos variables o no) y de electroimanes o transformadores (núcleos atravesados por campos magnéticos variables) se construyen formando *empilados* de chapas metálicas muy delgadas y aisladas entre sí. El aislante puede ser barniz laca, papel o simplemente el óxido que recubre las planchas.

Es por ello que la chapa magnética para empilados, lejos de preservarse de la humedad, se expende naturalmente oxidada, con herrumbre.

EL PENDULO DE WALTENHOF

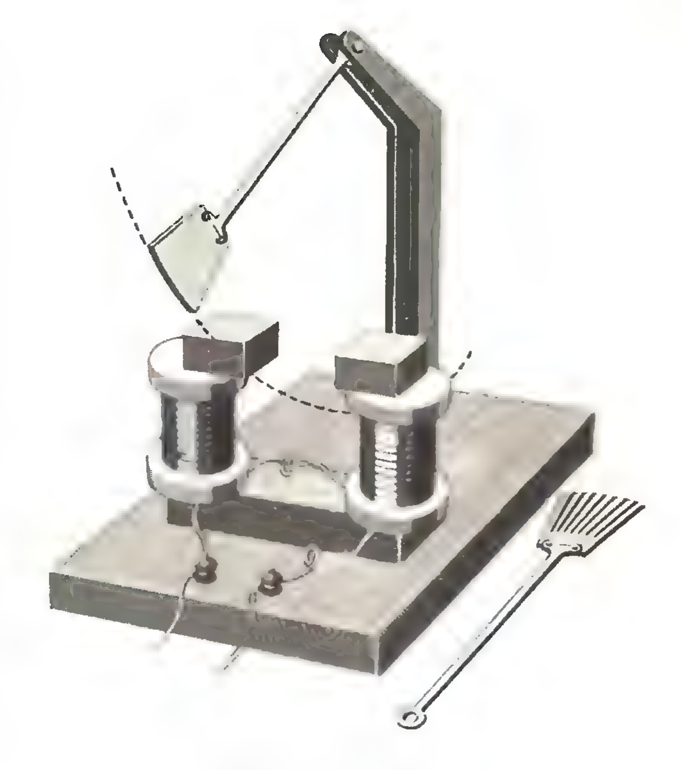
¿Por qué con núcleos fraccionados disminuyen las corrientes de Foucault?

De sus efectos y disminución nos habla con elocuencia el péndulo de Waltenhof, que no es otra cosa que un péndulo cuya masa oscilante, de cobre, atraviesa un fuerte campo magnético creado por un electroimán.

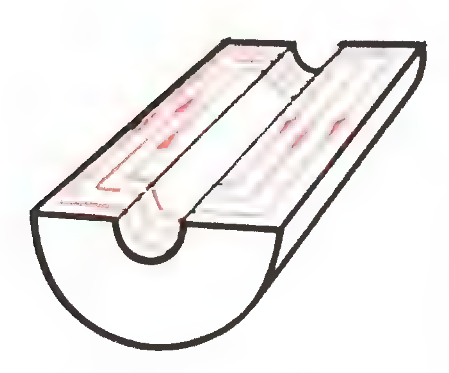
Si la masa del péndulo es de cobre macizo y lo hacemos oscilar, al dar corriente al electroimán observaremos que las oscilaciones descienden rápidamente por la acción de un freno invisible. El péndulo se para en poco tiempo.

Pero sustituyamos el péndulo macizo por otro en forma de peine: al dar corriente al electroimán, sigue las oscilaciones sin perturbación aparente, o por lo menos con la presencia de un freno de efectos muy escasos.

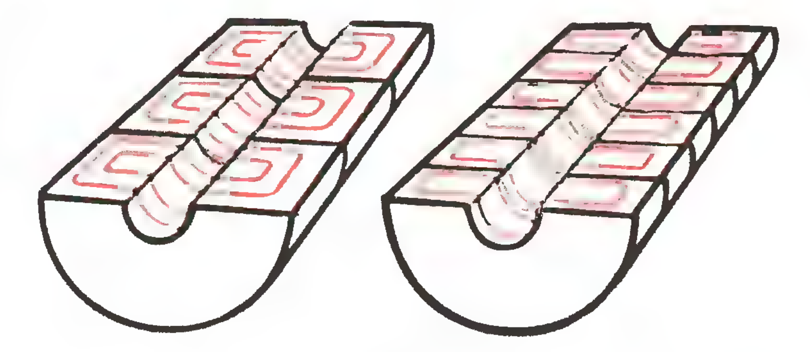
Lo que ocurre es que las corrientes parásitas de Foucault quedan obligadas a repartirse entre masas de mucha menor sección (mayor resistencia) que no permiten grandes intensidades de corriente, máxime cuando la f.e.m. inducida en cada chapa del núcleo es de poco valor, como ha quedado explicado al principio.



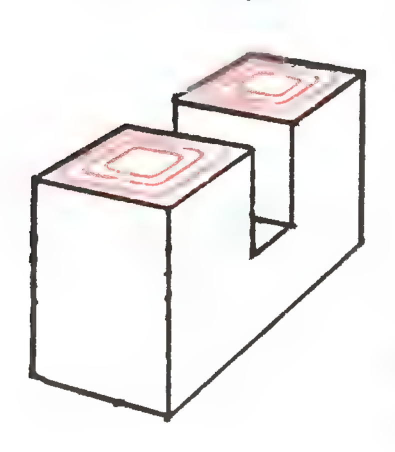
Péndulo de Waltenhof

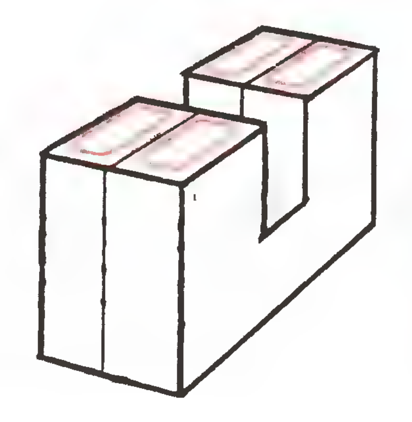


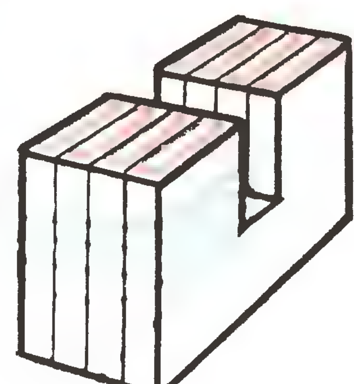
NUCLEO MACIZO
Grandes corrientes parásitas



NUCLEO FRACCIONADO
Pequeñas corrientes parásitas







CALCULO DE LAS PERDIDAS POR CORRIENTES DE FOUCAULT

Para calcular la magnitud de estas pérdidas se utiliza una fórmula que entraña pocas complicaciones. Véala:

$$W_F = \frac{0'001645 \times e^2 \times f^2 \times B^2 \times v}{10.000.000}$$

En esta fórmula intervienen dos valores constantes cuya deducción nos llevaría a consideraciones que no encajan en el contenido de estas lecciones. Preferimos indicar su valor, sin más comentario. Por otra parte, son fórmulas que no necesitan conocerse *de memoria* y que sólo se consultan en casos de necesidad.

La parte literal de esta fórmula representa lo siguiente:

W_F = Pérdidas por corrientes de Foucault, en vatios.
e = Espesor de la plancha, en centímetros.
f = Frecuencia de la corriente, en Hz.
B = Inducción máxima en el núcleo, en gauss.
v = Volumen *efectivo* del núcleo, en cm^3.

Cuando el núcleo no está formado por chapas, sino por alambres (solución que también es posible), la fórmula que se utiliza es ésta:

$$W_F = \frac{0'000329 \times R^2 \times f^2 \times B^2 \times v}{10.000.000}$$

Los valores son los mismos que antes, excepto la constante del numerador y R, que es el radio del alambre expresado en centímetros.

VOLUMEN EFECTIVO Y SECCION UTIL

Seguro que no le ha pasado inadvertido el detalle de la denominación de volumen efectivo, al referirnos al núcleo, que interviene en las fórmulas anteriores.

Esta denominación hace una distinción entre el volumen total de un núcleo de chapas o alambres y el volumen del hierro que en él interviene, que es el que realmente proporciona resultados efectivos.

Es decir: lo que cuenta es única y exclusivamente el volumen del hierro.

Un núcleo formado por chapas aisladas entre sí tiene menor volumen de hierro que otro núcleo macizo con idénticas dimensiones totales.

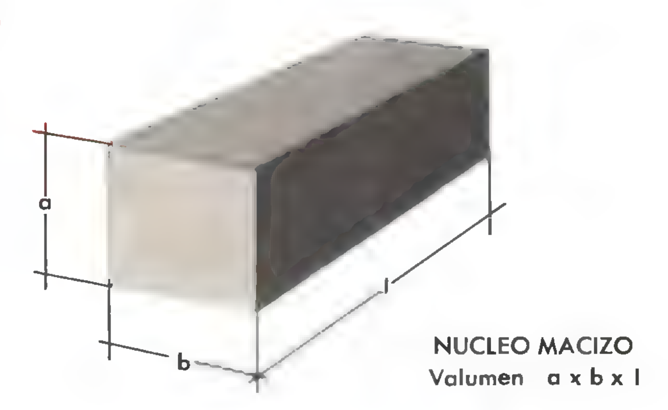
En el caso de un núcleo macizo de sección rectangular, el volumen total y efectivo vendrá dado por el producto de sus tres dimensiones:

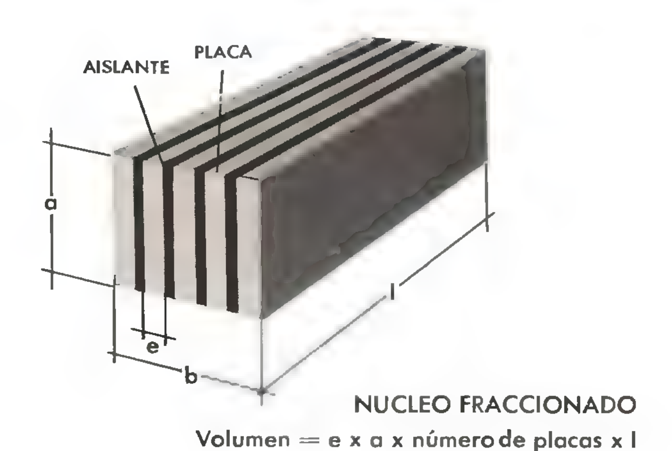
$$V = a \times b \times l$$

Pero si conseguimos el mismo volumen total por medio de chapas cuyo espesor representamos por *e* y cuya cantidad resulta ser *n*, el volumen efectivo (volumen del hierro) será:

$$V \text{ efectivo} = n \times a \times e \times l$$

Lo mismo sucede con los núcleos de alambre, cuya sección total es normalmente circular.





El volumen del hierro es menor en el segundo caso debido a los espesores aislantes.

El volumen de un núcleo cilíndrico macizo viene dado por esta expresión:

$$V = \frac{\pi \times D^2}{4} \times l$$

Si el mismo volumen total debe obtenerse con *n* alambres cuyo diámetro es *d*, el volumen efectivo será:

$$V \text{ efectivo} = \frac{\pi \times d^2}{4} \times n \times l$$

Este volumen efectivo —y por tanto, la sección efectiva o útil del núcleo— es el dato que se tiene en consideración para los cálculos técnicos (pérdidas, inducción, flujo, etc.). El volumen y la sección totales son datos puramente constructivos.

Para facilitar los cálculos, se admite que la sección útil de un núcleo de chapas es 0'9 veces la sección total. De ello resulta que un núcleo de chapa cuyas dimensiones sean 3 × 4 × 10 cm tendrá una sección total

$$S_t = 3 \times 4 = 12 \text{ cm}^2$$

y una sección útil

$$S_u = 12 \times 0'9 = 10'8 \text{ cm}^2$$

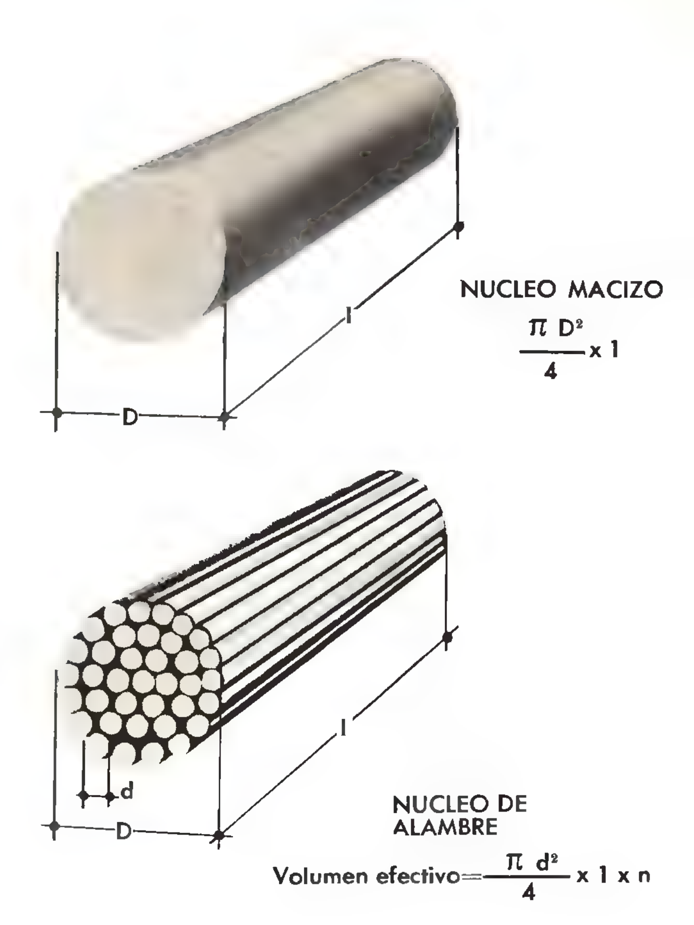
Su volumen total, sería:

$$V_t = S_t \times 10 = 12 \times 10 = 120 \text{ cm}^3$$

y su volumen efectivo,

$$V_{ef} = S_u \times 10 = 10'8 \times 10 = 108 \text{ cm}^3$$

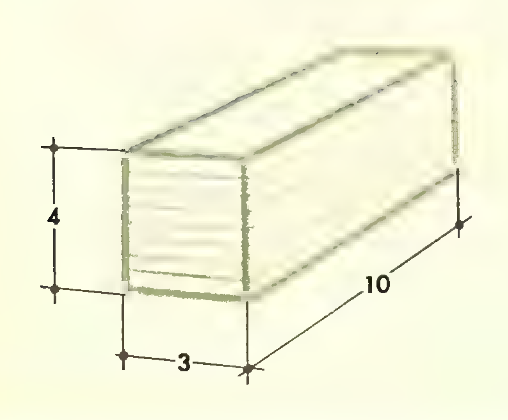
Si lo que conocemos del núcleo es la sección útil, podemos considerar que su sección total es



El volumen del hierro es menor en el segundo caso

1'1 veces dicha sección útil. Así, por ejemplo, suponiendo un núcleo de sección útil igual a 8 cm², el área de su sección total será:

$$S_t = 8 \times 1'1 = 8'8 \text{ cm}^2$$



Sección total $S_t = 3 \times 4 = 12$ cm²

Sección útil $S_u = 12 \times 0'9 = 10'8$ cm²

Volumen total $V_t = S_t \times 10 = 120$ cm³

Volumen ef. $V_{ef} = S_u \times 10 = 108$ cm³

UTILIDAD DE LAS CORRIENTES PARASITAS

Hasta ahora hemos considerado las corrientes de Foucault como fenómeno pernicioso, puesto que repercute en pérdidas de energía. Pero, glosando el refrán, también aquí podemos decir que *no hay mal que por bien no venga;* y a fuerza de ingenio se les ha encontrado aplicaciones ventajosas, de manera que no siempre se busca su eliminación, sino que, para determinadas funciones, lo que se busca son grandes corrientes parásitas.

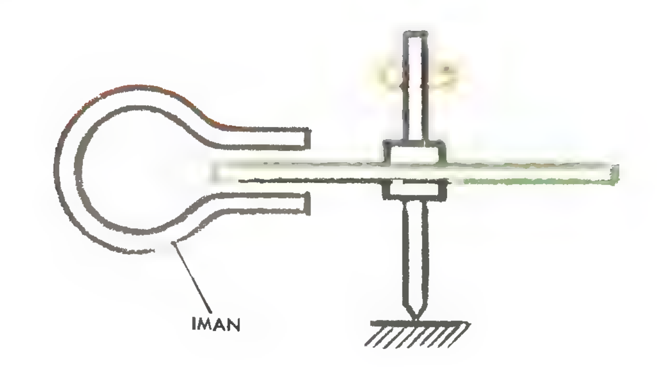
¿Un ejemplo...?

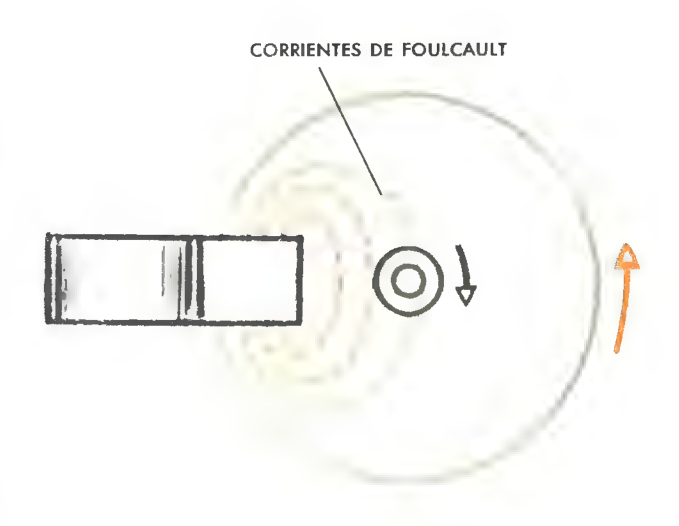
Usted ha visto que en el contador de su casa se halla un disco de aluminio que da vueltas siempre que existe un elemento de consumo en marcha. De la velocidad de giro de este disco deducimos la cuantía de consumo. A nadie le gusta observar que el disco del contador gira a gran velocidad; señal evidente de que la factura que presentará la compañía no va a ser de nuestro agrado.

Este disco, sin embargo, forma parte de un freno que sirve para regular la marcha del contador, que sin él adquiriría una aceleración constante (para un consumo constante) que alteraría la fidelidad de la cuenta.

Este disco da vueltas en un campo magnético que induce en su masa las consabidas corrientes de Foucault, de acción contraria a la fuerza que hace girar el disco. Las corrientes parásitas, actuando de freno, regulan la velocidad del contador, haciendo que sea constante para cada consumo.

Este dispositivo se conoce con el nombre de *freno de Foucault.*





Esquema de un freno de Foucault para contadores.

MATERIAL Y DATOS TECNICOS PARA CHAPAS DE NUCLEOS DE BOBINAS

Empezaremos por decir que el espesor de las chapas se establece de acuerdo con la frecuencia de la corriente.

Para frecuencias no superiores a 50 Hz: chapas de 0'3 a 0'5 mm.

Para frecuencias de 50 Hz a unos 1000 Hz: chapas de 0'03 a 0'05 mm.

Para altas frecuencias se utilizan núcleos formados por una mezcla de polvo metálico y material aislante pulverizado, moldeada a presión para conseguir la forma deseada. Se comprende que de esta forma casi se anulen por completo las corrientes parásitas, dado que las partes metálicas son pequeñísimas.

El material empleado para la fabricación de las chapas acostumbra ser hierro aleado con silicio, elemento que mejora sus cualidades magnéticas y que disminuye las pérdidas por histéresis. El silicio, empero, tiene una contraindicación: el hierro se vuelve quebradizo. De ahí que para dínamos y alternadores, cuyos núcleos están sometidos a esfuerzos mecánicos, se utilice hierro con muy bajo tanto por ciento de silicio.

En cambio, para transformadores, cuyo núcleo es estático, se utiliza hierro con alto porcentaje de silicio.

Para los cálculos magnéticos con estas chapas utilizaremos los valores comprendidos en la siguiente tabla, que viene a ampliar la que apareció en la lección octava.

TABLA Av cm SEGUN LA INDUCCION EN LOS CIRCUITOS MAGNETICOS

B	CHAPAS DINAMOS mi		CHAPAS ALTERNADORES mi		CHAPAS TRANSFORMADORES mi	
10.000	5	1600	5'5	1455	6	1330
10.500	5'2	1615	6	1400	6'8	1235
11.000	5'5	1600	6'5	1355	7'8	1130
11.500	6	1534	7	1315	10	920
12.000	6'5	1480	8	1200	11'5	835
12.500	7'4	1350	9	1100	14'5	690
13.000	8'5	1220	11	945	17'5	595
13.500	9'8	1100	13'4	800	22'5	480
14.000	11'5	975	16'5	680	27'2	410
14 500	13'5	860	20	580	36	320
15.000	16'5	730	25'5	470	44	270
15.500	20	630	32	290	56	220
16.000	25'5	500	41	310	69	185
16.500	32	410	54	345	86	150
17.000	43	315	68	200	108	125
17.500	57'4	245	87	160	139	100
18.000	76	190	112	130	178	80
18'500	97	150	153	95	260	55
19.000	135	110	212	70	380	40
19.500	180	86	292	53	—	—
20.000	240	66	386	40	—	—

PERDIDAS TOTALES EN EL HIERRO - COEFICIENTE ESPECIFICO

De acuerdo con lo que llevamos estudiado, las pérdidas totales habidas en el núcleo de una bobina serán la suma de las pérdidas por histéresis y las pérdidas por corrientes de Foucault.

$$W_{FE} = W_H + W_F$$

Esto implica un doble cálculo, lo que muchas veces hace más práctico y sencillo determinar las pérdidas totales en el hierro utilizando el llamado COEFICIENTE ESPECÍFICO DE PÉRDIDAS EN EL HIERRO.

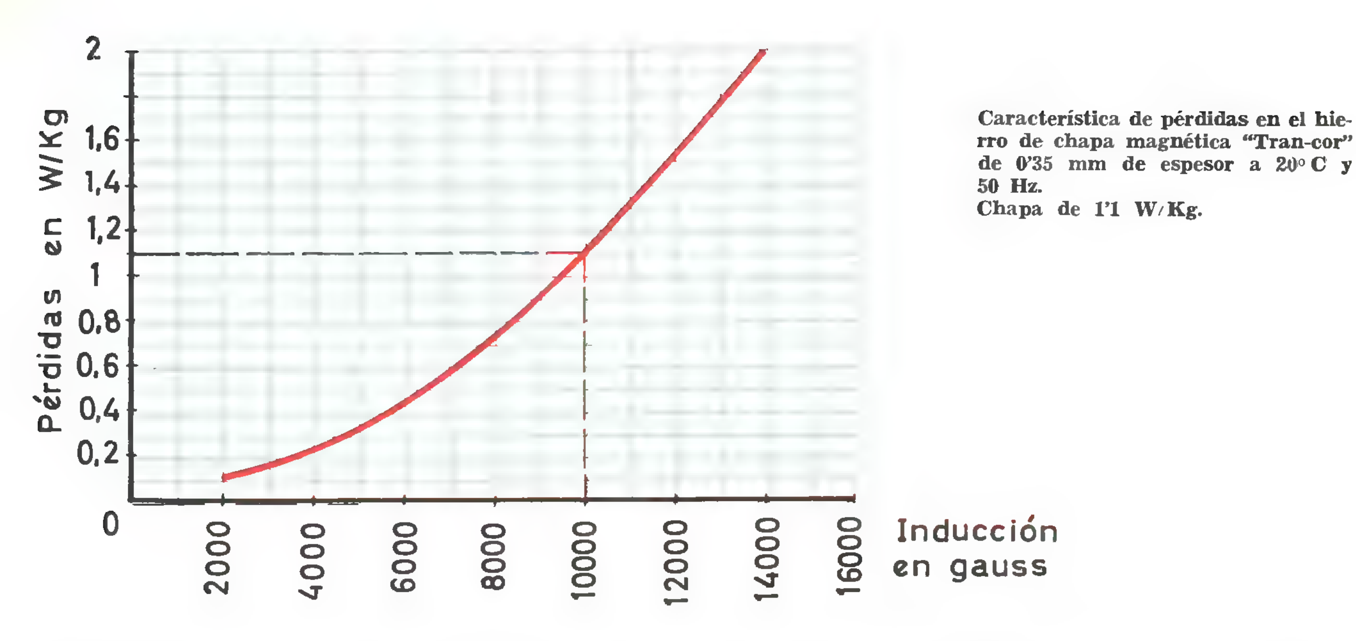
Los fabricantes de chapa magnética dan este coeficiente como dato específico del producto, el que deduce el usuario a partir de una curva obtenida por un método llamado de Epstein. Este coeficiente representa las pérdidas totales en el hierro por cada Kg de plancha y según la inducción.

Cuando se trabaja con este coeficiente, las planchas se denominan por los W/Kg (vatios de pérdida por kilo) que corresponden a 10.000 gauss.

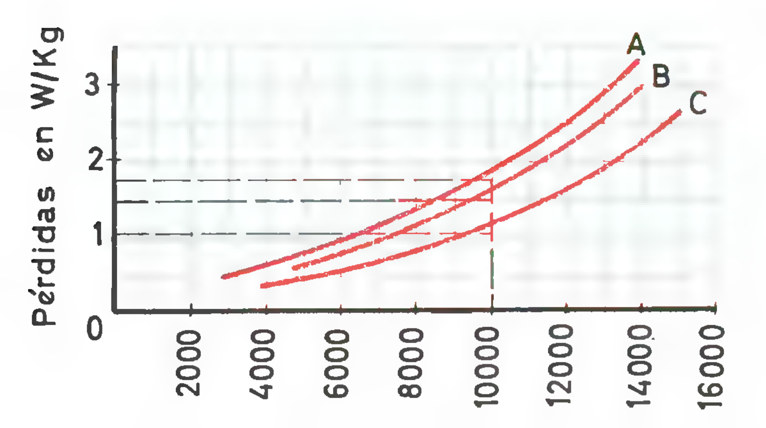
Vea dos ejemplos en la página siguiente:

Estas curvas se han obtenido por el procedimiento de Epstein. Las líneas de referencias nos dan las pérdidas en W/Kg para B = 10.000 gauss, que, según acabamos de decir, es el dato que se toma como denominación específica de la calidad de la plancha.

En realidad, las pérdidas indicadas por estas curvas deben aumentarse en un 12 % debido a que, en condiciones normales de funcionamiento, las chapas no estarán a 20°, sino que su temperatura será de unos 75° C.



Característica de pérdidas en el hierro de chapa magnética "Tran-cor" de 0'35 mm de espesor a 20° C y 50 Hz.
Chapa de 1'1 W/Kg.



Chapa para transformadores. Característica de pérdidas en el hierro para espesor 0'35 mm, 20° C y 50 Hz.
A — Chapa ordinaria = 1'75 W/Kg.
B — Chapa media = 1'50 W/Kg.
C — Chapa superior = 1'1 W/Kg.

Ejemplo

Supongamos que el núcleo de un transformador está formado por chapas de calidad B (ver el segundo gráfico) de 0'35 mm de espesor. La corriente aplicada es de 50 Hz. Hallar las pérdidas debidas a corrientes de Foucault y por histéresis para B = 8.000 gauss, sabiendo que el núcleo pesa 250 Kg.

Solución

Consultando la gráfica, vemos que para una chapa de calidad B y 8.000 gauss de inducción corresponde un coeficiente específico de pérdidas en el hierro de 1 W/Kg. Es decir; por cada Kg de chapa habrá una pérdida de 1 W.

Como el núcleo pesa 250 Kg, tendremos:

$$W_{FE} = 250 \times 1 = 250 \text{ W}$$

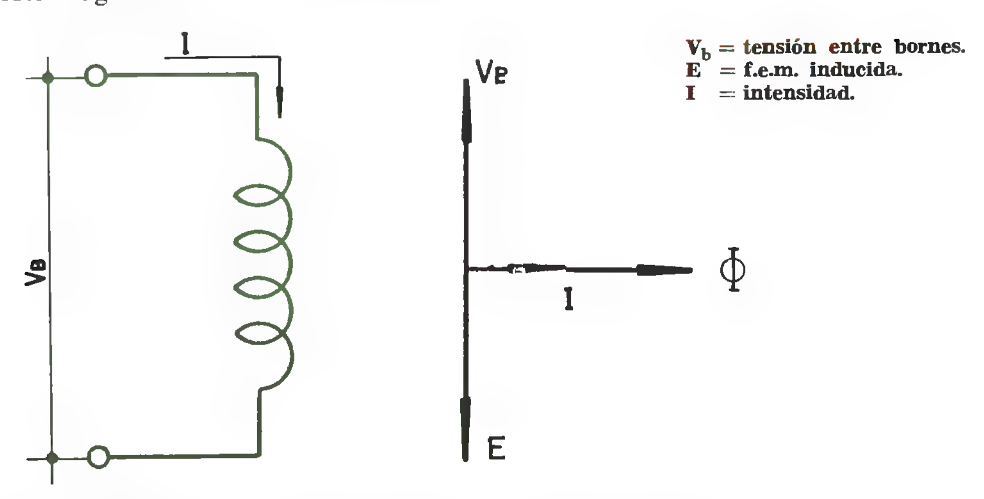
Cuando el transformador funcione, esta pérdida en el hierro se incrementará en un 12 %.

$$W'_{FE} = 250 + \frac{250 \times 12}{100} = 250 + 30 = 280 \text{ W}$$

Este procedimiento, evidentemente, resulta muy práctico siempre que se conozca la calidad de la chapa.

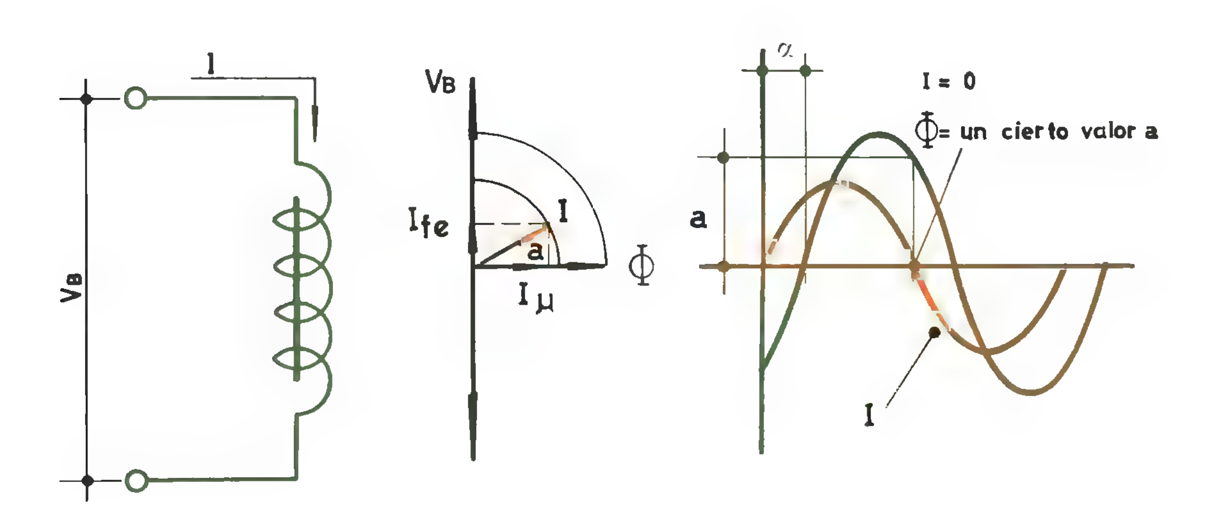
DIAGRAMAS DE LAS BOBINAS DE REACCION

Si una bobina carece de núcleo de hierro y suponemos que carece de resistencia óhmica, estaremos ante un circuito con inducción pura. Recordemos este diagrama.

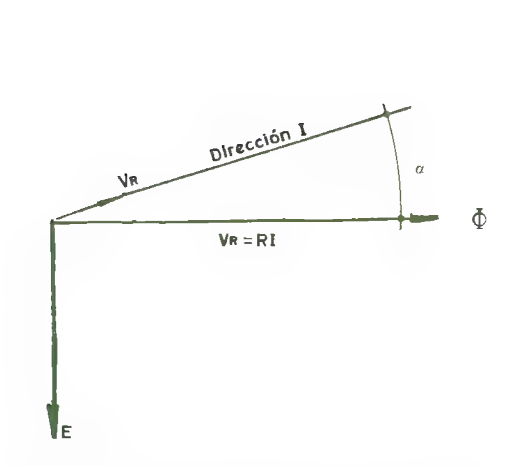


En un circuito con inducción pura la tensión entre bornes viene adelantada 90° respecto al flujo Φ; la f.e.m. inducida E queda atrasada 90° y la intensidad I está en fase con el flujo Φ.

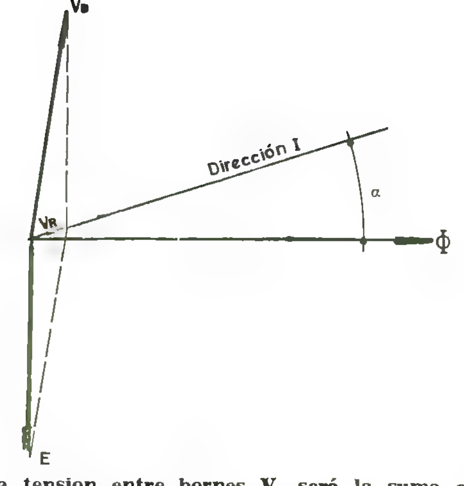
Suponiendo la bobina anterior sin resistencia óhmica, pero con núcleo de hierro, resulta que, debido a la histéresis del núcleo, la intensidad ya no está en fase con el flujo. En la lección 7 (recuérdelo) decíamos que aun siendo nula la intensidad del campo, que depende de I, queda un magnetismo remanente que prueba la existencia de un flujo. Luego, si para I = 0 se manifiesta un cierto flujo, resulta evidente que Φ e I no están en fase.



Una bobina con núcleo de hierro (supuesta nula la resistencia óhmica) hace que la intensidad I quede defasada del flujo un cierto ángulo Φ.



La caída óhmica V_R estará en serie con I.

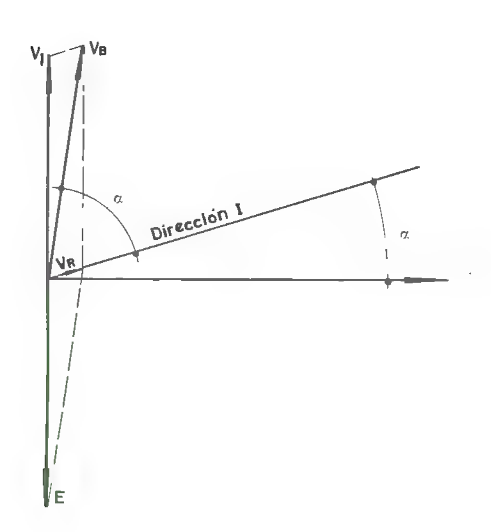


La tension entre bornes V_B será la suma geométrica de V_R y E.

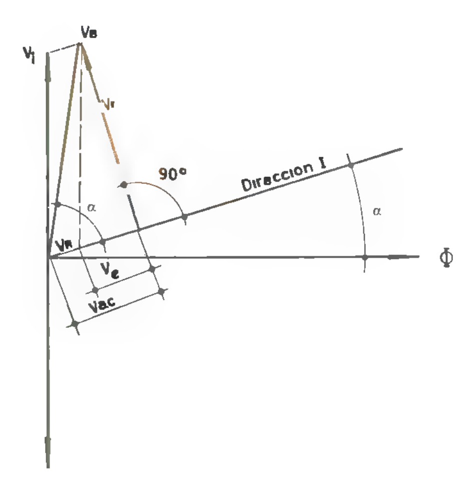
Observe que la intensidad I puede descomponerse en dos: una intensidad en fase con el flujo, que llamaremos *corriente magnetizante,* $I\mu$; otra en fase con la tensión entre bornes, que llamaremos *corriente de pérdidas en el hierro.*

Pero la bobina tendrá una determinada resistencia óhmica, que provocará la correspondiente caída óhmica en fase con la intensidad.

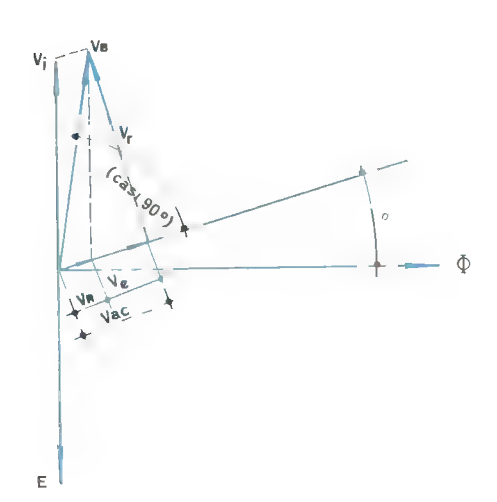
Sigamos con la tensión entre bornes. No es difícil observar que, además de las descomposiciones anteriores, aún podemos proponer una más:



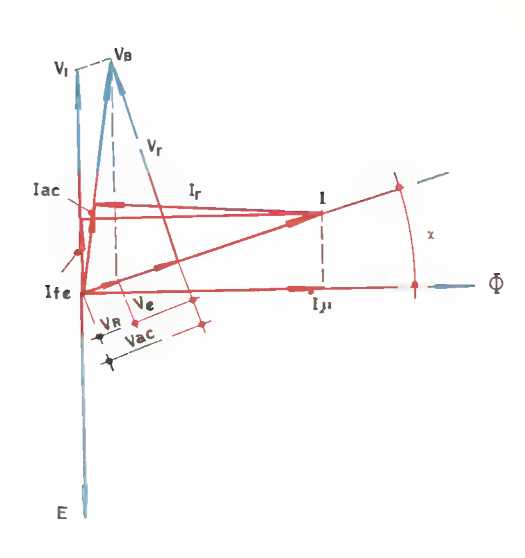
También la tensión entre bornes V_B es la suma geométrica de V_R y V_j, o caída inductiva igual a E pero de signo contrario.



La tensión entre bornes es la suma geométrica de la tensión activa (V_{ac}) en fase con I y la tensión reactiva (V_r) perpendicular a la primera.



Al ser V_R muy pequeña, el ángulo φ se acerca mucho a 90°.



Vea ahora el mismo diagrama, al que se han añadido las intensidades.

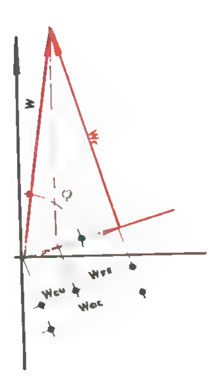
Pero lo normal es que la resistencia óhmica de una bobina sea muy pequeña, por lo que la caída óhmica V_R será también muy pequeña. En consecuencia, el diagrama anterior se nos *cierra* mucho más. Acepte la expresión.

En estos diagramas hemos exagerado deliberadamente el ángulo que forman V_I y V_B. En realidad, y sin error apreciable, podemos escribir:

$V_i = E = V_B$ (el valor E de sentido contrario)
$I_r = I\mu$
$I_{ac} = I_{FE}$

Podemos completar estos diagramas con el triángulo de potencias.

Aparecen dos potencias, W_{cu} y W_{FE}, cuya suma aritmética es la potencia activa, que son las potencias debidas a las pérdidas en el cobre y a las pérdidas en el hierro.



W_a = Potencia aparente = $V_B \times I$
W_{ac} = Potencia activa = $V_B \times I \cos\varphi$
$W_{ac} = W_{cu} + W_{FE}$

$$\cos\varphi = \frac{W_{ac}}{W}$$

VALOR DE LA F.E.M. INDUCIDA EN UNA BOBINA DE REACCION

En la lección 10 vimos que la f.e.m. inducida en una espira que se mueve en un campo magnético tenía este valor:

$$E = \frac{B \times l \times v}{100.000.000} \text{ voltios}$$

El valor de esta f.e.m. inducida en una bobina con varias espiras atravesadas por un flujo alterno es:

$$E_{max} = \frac{2\ \pi\ f\ \Phi\ m}{100.000.000}$$

En esta fórmula, f = frecuencia en Hz;
Φ = flujo en maxwells;
m = número de espiras.

Por último, el valor eficaz de E vendrá dado por esta expresión:

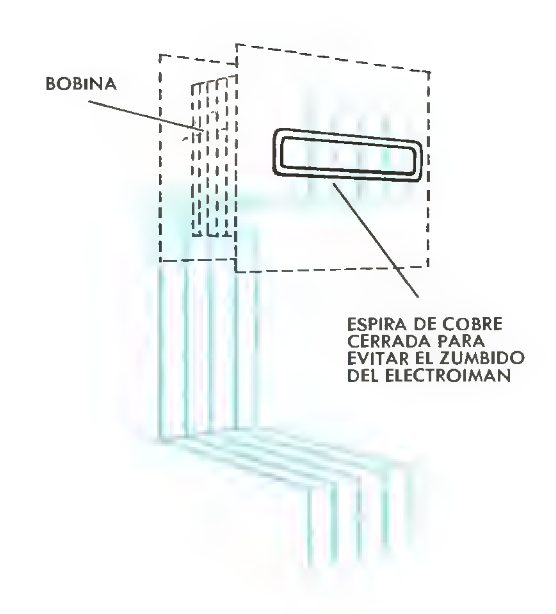
$$E = \frac{0'707 \times 2 \times \pi \times f \times \Phi \times m}{100.000.000} =$$

$$= \frac{4'44 \times f \times \Phi \times m}{100.000.000} \text{ voltios}$$

ELECTROIMANES PARA C.A.

Es posible construir electroimanes para corriente alterna. Sobre ellos vamos a decir algunas generalidades, sin necesidad de extendernos en demasía, dada la circunstancia de que todo lo que se refiere al cálculo de electroimanes para c.c. es también válido para los de c.a.

El flujo magnético, en este tipo de electroimanes, será alterno; y en consecuencia la fuerza de atracción será variable a lo largo de un período, lo cual produce en el aparato en funcionamiento un zumbido característico que puede anularse disponiendo en el núcleo una espira cerrada.



El núcleo, como puede suponerse, estará formado por un empilado de chapa magnética para disminuir las corrientes parásitas.

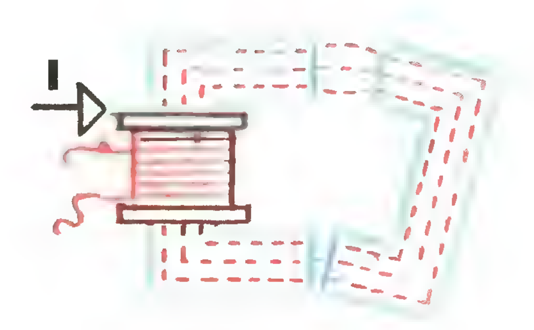
Para calcular un electroimán para c.a. podemos servirnos de las mismas fórmulas empleadas al calcular un electroimán para c.c. Lo hemos dicho.

Lo único a tener en cuenta es la necesidad de trabajar con valores eficaces de intensidad, flujo, inducción, etc.

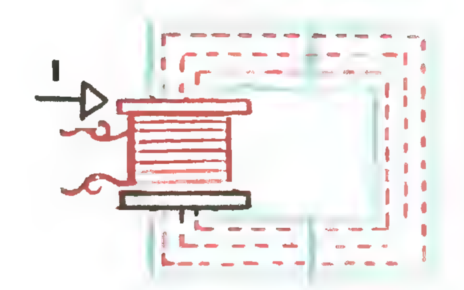
Otra cuestión importante, derivada del hecho de ser variable la fuerza de atracción, es que no podemos considerar como fuerza efectiva aquella que corresponde a los instantes de máxima corriente; sino que, en electroimanes para c.a., tendremos una fuerza de atracción media efectiva que será la mitad de la fuerza máxima.

Debe advertirse, como nota curiosa y exclusiva de los electroimanes para c.a., que, contrariamente a lo que sucede con los de corriente continua, el flujo magnético es independiente del entrehierro; de su longitud.

Puesto que el flujo no varía a pesar de un posible aumento del entrehierro, la magnitud variable debe ser la intensidad que provoca el flujo. Por este motivo, como dato de valor técnico de los aparatos electromagnéticos de c.a. que actúan con entrehierros variables (caso característico de un contactor y de ciertos electroimanes) se da a conocer el valor de una intensidad de llamada y de una intensidad de servicio, muy distintas entre sí. La intensidad de llamada, que corresponde al mayor entrehierro, es muy superior a la de



INTENSIDAD DE LLAMADA



INTENSIDAD DE SERVICIO

En los electroimanes para c.a. la intensidad varía proporcionalmente con el entrehierro.

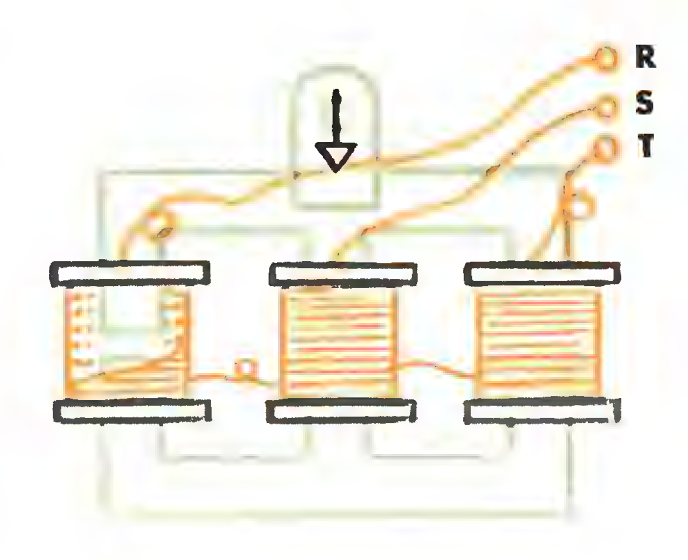
servicio, pero dura sólo un instante. Mientras la bobina está conectada a la red, actúa la intensidad de servicio.

Para reducir las pérdidas en el hierro deben adoptarse bajas inducciones. El cálculo de dichas pérdidas puede efectuarse por el procedimiento que hemos prescrito para las bobinas con núcleo de hierro, o bien con el sistema que veremos dentro del estudio que vamos a iniciar inmediatamente: los transformadores.

Se comprende que los electroimanes para corriente alterna pueden ser polifásicos cuando así lo permite la línea de suministro.

En este caso se calculará una bobina por fase, según la tensión e intensidad de cada una de las fases. Luego se conectarán las bobinas en estrella o en triángulo.

Tampoco insistimos acerca de las aplicaciones de estos electroimanes, porque habríamos de repetir todo lo dicho al estudiar los de corriente continua.



Electroimán trifásico.

TRANSFORMADORES

Con el nombre genérico de TRANSFORMADOR designamos a todo aparato capaz de transformar una energía eléctrica en otra energía (eléctrica también) de características distintas.

Esta primera definición era necesaria para dejar bien sentado que la electrotecnia no considera con el nombre de transformador sólo lo que todo el mundo interpreta por tal, sino todo ingenio capaz de conferir nuevas características a una corriente eléctrica. Lo que sucede es que, por muchas razones, lo que no son transformadores *tradicionales* (valga la expresión) se conocen mejor por su denominación específica.

Las clasificaciones aceptadas se apoyan, como es natural, en características mecánicas o en características de transformación.

CLASIFICACION DE LOS TRANSFORMADORES

Atendiendo a sus características mecánicas podemos establecer la siguiente clasificación, que los divide en dos grandes grupos:

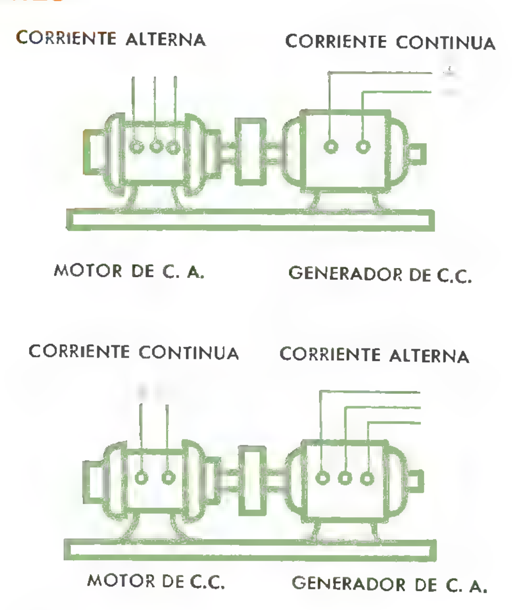
ESTÁTICOS. Todos sus elementos están en reposo.

ROTATIVOS. Alguno de sus elementos está en movimiento.

En el primer grupo encontramos los transformadores de c.a. que todos conocemos, aquellos que se han apropiado el nombre. En cierto sentido, podemos considerar dentro del grupo, y en c.c., los acumuladores, que ya hemos estudiado.

Entre los transformadores rotativos debemos mencionar los llamados *convertidores*, encargados de transformar o convertir la corriente continua en corriente alterna o viceversa.

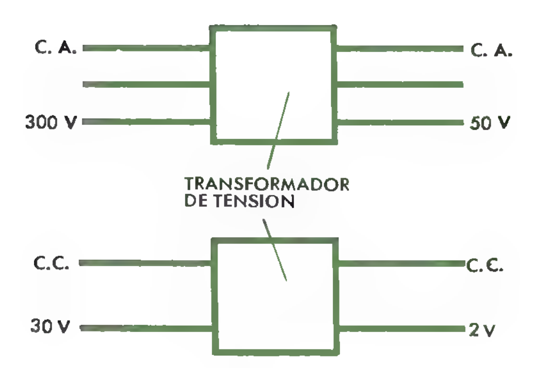
De momento nos limitamos a enunciar su existencia y a dar una representación esquemática de su función. Estudiaremos oportunamente estos aparatos (los convertidores).



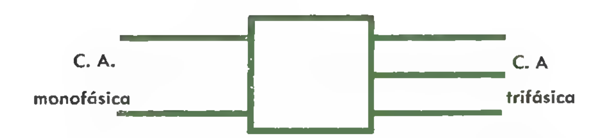
CONVERTIDORES

Atendiendo ahora a sus características eléctricas podemos establecer una clasificación más amplia y real:

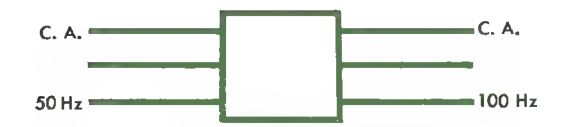
TRANSFORMADORES DE TENSIÓN. Elevan o reducen la tensión conservando el tipo de corriente.



TRANSFORMADORES DE FASE. Transforman corrientes monofásicas en polifásicas o corrientes polifásicas en otras también polifásicas. Pueden actuar a la inversa; es decir, convertir corrientes polifásicas en monofásicas.



TRANSFORMADORES DE FRECUENCIA. Proporcionan la posibilidad de variar la frecuencia de las corrientes alternas.



Vamos a centrar nuestro esfuerzo en el estudio de los TRANSFORMADORES ESTÁTICOS DE C.A., empezando con los monofásicos para extendernos luego en los polifásicos, siempre moviéndonos en la subdivisión de los transformadores de tensión.

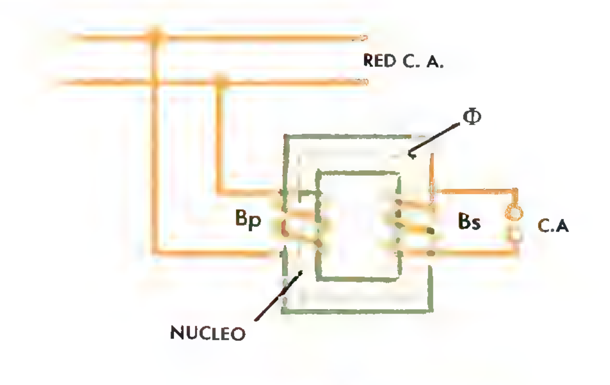
TRANSFORMADORES ESTATICOS DE TENSION

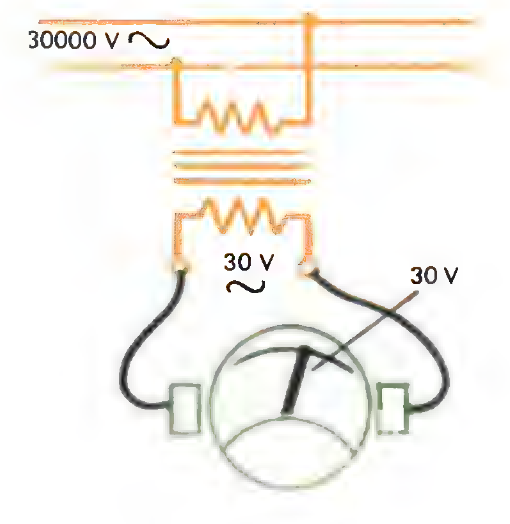
Su fundamento teórico

La comprensión de la teoría de los transformadores estáticos de tensión para corriente alterna no debe representar ninguna dificultad. Después de lo mucho que llevamos dicho sobre los fenómenos debidos a la inducción electromagnética, la teoría de estos transformadores (el transformador *a secas*) es algo inmediato.

En un núcleo magnético cerrado se disponen dos bobinas a las que llamaremos B_p y B_s. La bobina B_p (bobina primaria) se conecta a la red de c.a., por cuyo motivo crea en el núcleo un flujo magnético variable que, a su vez, induce una corriente alterna en la bobina B_s (secundaria). Esta corriente inducida tiene mayor o menor voltaje que la red y es la que podamos medir a la salida del transformador entre los bornes de B_s.

Es muy interesante apreciar la particularidad siguiente: en estos transformadores existe una total separación eléctrica entre el circuito inductor de la bobina B_p y el circuito inducido de B_s. La única relación entre ambos es el flujo magnético que pasa por el núcleo. Este detalle hace del transformador un elemento utilísimo para el control de corrientes de alta tensión. ¿Se imagina el enorme aislamiento que debiera llevar un voltímetro destinado a medir una tensión del orden de los 30.000 voltios? Sin embargo, un trans-





formador que reduzca la tensión a 30 V soluciona el problema, puesto que bastará multiplicar por mil la lectura que proporcione un voltímetro normal para saber la tensión de la línea de alta.

Si en el voltímetro leemos 30 V, sabemos que en la línea se encuentra la tensión nominal de 30.000 voltios. Si la tensión baja, el voltímetro nos indicará, por ejemplo, 27 V. En este caso, la tensión en la línea será de $27 \times 1000 = 27.000$ V.

Ya en la primera lección sobre corriente alterna vimos que la gran difusión de este tipo de corriente se debía a esta extraordinaria facilidad para los cambios de tensión.

Estos transformadores se construyen para toda potencia y cualquier tensión, sin más limitación que la que impone el problema del transporte, factor decisivo en el proyecto y fabricación de grandes transformadores.

Pueden alcanzarse potencias de hasta 20.000 KVA y tensiones de 380 KV y más.

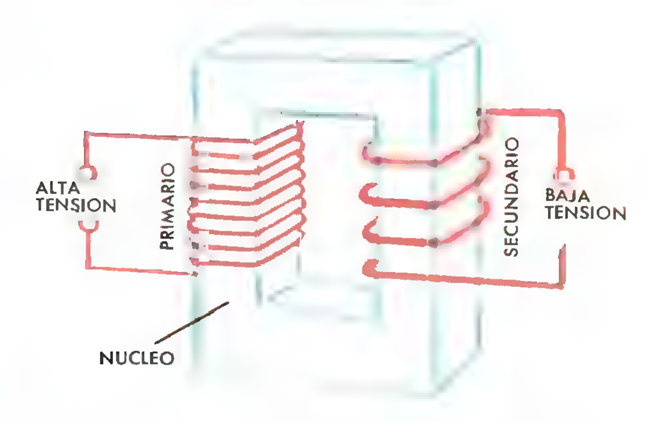
En todo transformador monofásico podemos distinguir tres elementos: el núcleo, el primario (bobina B_p) y el secundario (bobina B_s).

NÚCLEO. Está formado por chapa magnética empilada entre sí, que constituye el medio para la formación del flujo alterno.

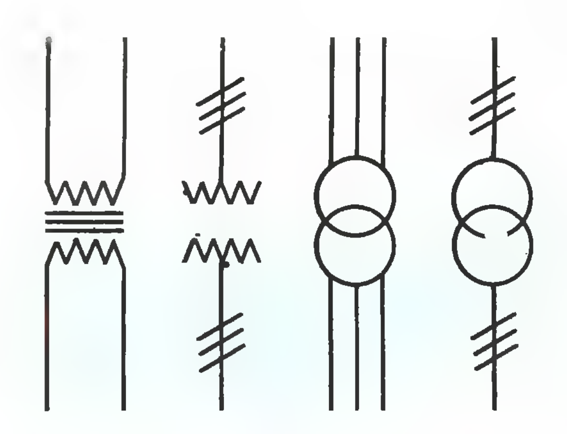
DEVANADO PRIMARIO. Es la bobina conectada a la red que recibe la energía a transformar. Puede ser de alta tensión si el transformador es reductor y de baja tensión cuando es elevador.

DEVANADO SECUNDARIO. Es la bobina (o bobinas) que transmite la energía recibida del primario al circuito de consumo.

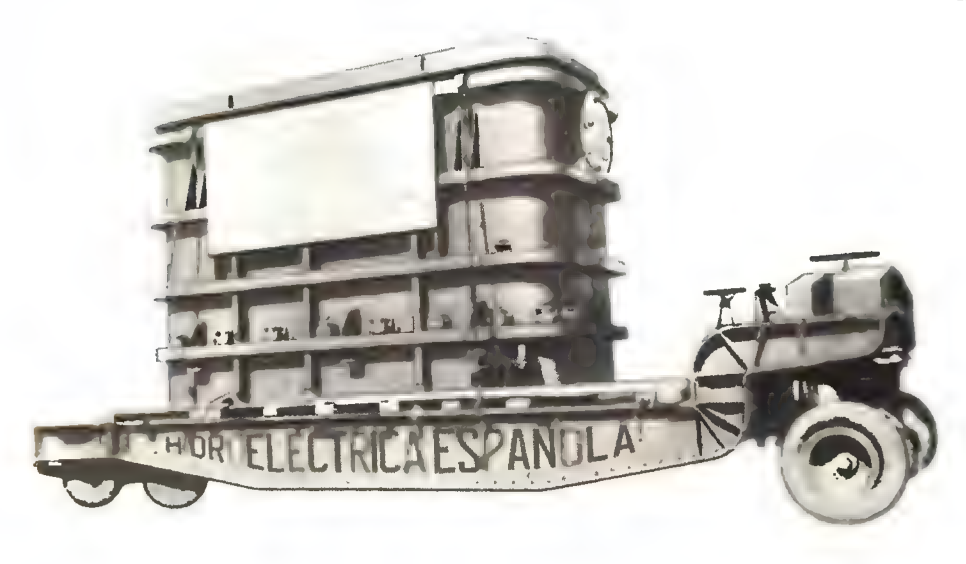
SÍMBOLOS PARA TRANSFORMADORES. Para representar los transformadores en los esquemas técnicos pueden utilizarse estos símbolos:



Elementos fundamentales del transformador estático de tensión.



Los dos de la derecha son los más utilizados.

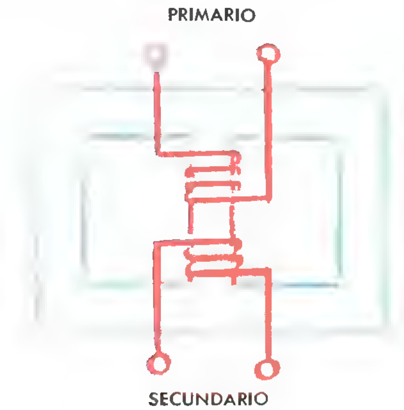


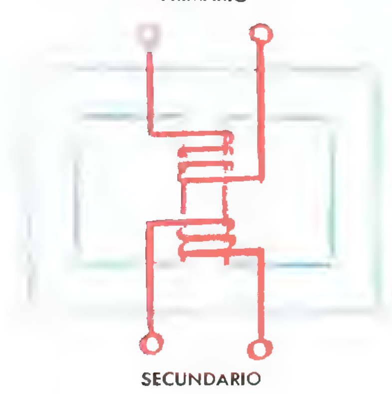
El problema del transporte de grandes transformadores representa un límite a las posibilidades constructivas.

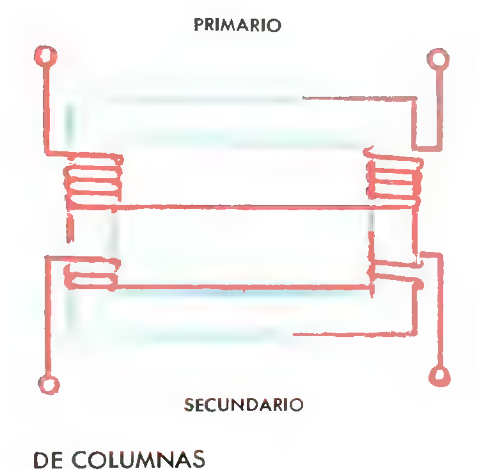
FORMA DE LOS TRANSFORMADORES MONOFASICOS

No nos referimos a la forma aparente externa que puedan adoptar, sino a la forma debida a unas determinadas características técnicas.

Los transformadores monofásicos (entra una sola fase y sale una sola fase) pueden presentarse en una de estas dos formas básicas: ACORAZADOS O DE COLUMNAS. Los representamos en forma esquemática:







DE COLUMNAS

La disposición de los devanados en estos transformadores puede ser una de las que representamos en el gráfico siguiente:

DISPOSICION DE LOS DEVANADOS

PRIMARIO
SECUNDARIO
PRIMARIO
SECUNDARIO

DEVANADOS CONCENTRICOS

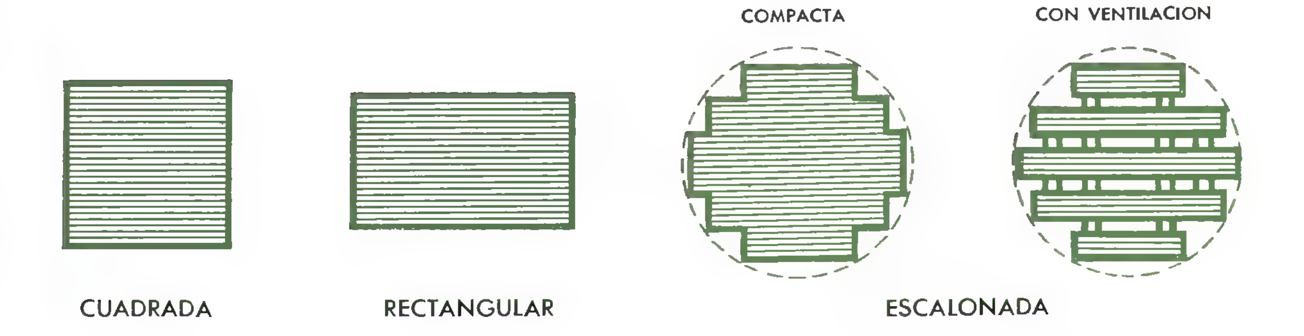
PRIMARIO
SECUNDARIO
PRIMARIO
SECUNDARIO

DEVANADOS ALTERNOS

En los transformadores de columna el devanado de baja tensión se coloca siempre en el interior; el de alta tensión, en el exterior.

La sección del núcleo puede ser, fundamentalmente, cuadrada, rectangular o escalonada, con o sin ventilación.

Para grandes transformadores se utilizan núcleos de sección escalonada, que permiten arrollamientos circulares con mayor aprovechamiento de espacio y menor diámetro de bobina a igualdad de sección. Esto se traduce en una reducción en el gasto de hilo de cobre.



ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR MONOFASICO

Distinguiremos entre *funcionamiento en vacío* y *funcionamiento en carga.*

I. FUNCIONAMIENTO EN VACÍO

Decimos que un transformador trabaja en vacío cuando el primario está conectado a la red y el secundario permanece sin carga; o sea, con el circuito abierto.

Se demuestra que en todo transformador monofásico en vacío se cumple la siguiente relación:

$$\frac{V}{V_{SO}} = \frac{m_p}{m_s}$$

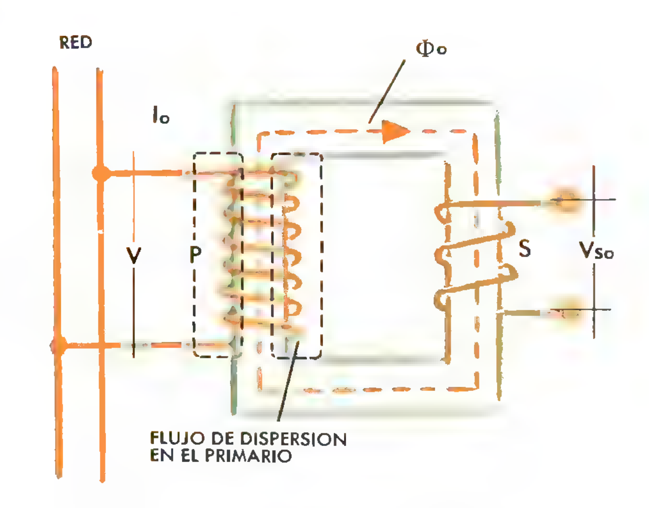
Esta es la relación principal de los transformadores; la llamada RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN.

En la expresión es:

V = tensión entre los bornes del primario;
V_{SO} = tensión entre los bornes del secundario;
m_p = número de espiras del primario;
m_s = número de espiras del secundario.

Suponga que un transformador tiene un primario de 500 espiras conectado a una red alterna de 220 V. Si el secundario es de 10 espiras, ¿cuál será la tensión entre sus bornes?

De acuerdo con la relación de transformación, tendremos:



Transformador funcionando en vacío.

$$\frac{V}{V_{SO}} = \frac{m_p}{m_s}; \quad \frac{220}{V_{SO}} = \frac{500}{10};$$

$$V_{SO} = \frac{220 \times 10}{500} = 4'4 \text{ V}$$

Otro caso:

El primario de un transformador tiene 1000 espiras y esta conectado a una red de alterna de 125 V. ¿Cuántas espiras deberá tener el secundario para obtener entre sus bornes una tensión de 25 voltios?

En este problema la incógnita es m_s.

$$\frac{V}{V_{SO}} = \frac{m_p}{m_s}; \; ms = \frac{V_{SO} \times m_p}{V} =$$

$$= \frac{25 \times 1000}{125} = 200 \text{ espiras}$$

Hemos empezado diciendo que *se demostraba* que en los transformadores existía la relación de transformación, demostración que no tiene nada de extraordinario y que a título informativo añadimos a estas líneas.

Al conectar el primario de un transformador a la red, si este transformador trabaja en vacío, la corriente que circule por la bobina del primario (la llamaremos I_0) será muy pequeña, puesto que sólo debe crear el flujo Φ_0 y compensar las pérdidas en el hierro, insignificantes dada la forma y dimensiones del núcleo, previamente estudiadas.

Al ser I_0 un valor muy pequeño, también las caídas óhmica e inductiva serán de escaso valor. Es decir:

$$v = R \times I_0 = \text{valor muy pequeño}$$
$$v_1 = X \times I_0 = \text{valor muy pequeño}$$

En consecuencia, la tensión entre los bornes del primario sólo debe contrarrestar la fuerza contraelectromotriz autoinducida en el primario por efecto del flujo variable Φ_0. Llamando E_{PO} a esta f.e.m. podemos escribir:

$$E_{PO} = V$$

Consideremos ahora la bobina del secundario. De acuerdo con el principio fundamental, el flujo Φ_0 que abraza las espiras del secundario crea en las mismas una f.e.m. inducida (la llamaremos E_{SO}), que al no circular corriente por el circuito del secundario será igual a la tensión entre los bornes del secundario V_{SO}.

$$E_{SO} = V_{SO}$$

Por otra parte, sabemos que el valor de la f.e.m. inducida es:

$$E = \frac{4'44 \times m \times f \times \Phi}{100.000.000}$$

Aplicando esta fórmula al caso concreto que nos ocupa, tendremos:

$$E_{PO} = V = \frac{4'44 \times mp \times f \times \Phi_0}{100.000.000}$$

Y también,

$$E_{SO} = V_{SO} = \frac{4'44 \times ms \times f \times \Phi_0}{100.000.000}$$

Si dividimos miembro a miembro las dos últimas expresiones, tendremos:

$$\frac{V}{V_{SO}} = \frac{\dfrac{4'44 \times mp \times f \times \Phi_0}{100.000.000}}{\dfrac{4'44 \times ms \times f \times \Phi_0}{100.000.000}} = \frac{mp}{ms}$$

$$\frac{V}{V_{SO}} = \frac{mp}{ms}$$

Sale la relación de transformación, como nos proponíamos demostrar.

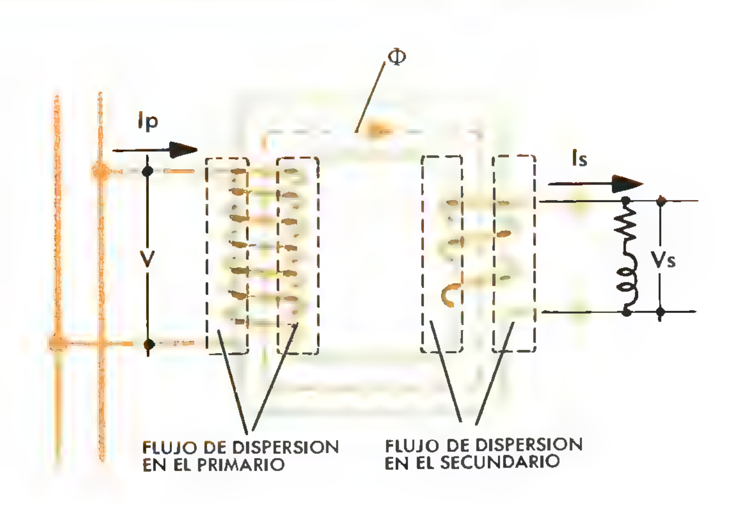
II. Funcionamiento con carga

Si conectamos un consumidor de energía a los bornes del secundario, diremos que el transformador trabaja con carga.

Para concretar, podemos suponer que se trata de una carga inductiva, en cuyo caso el anterior esquema quedará modificado de acuerdo con lo que se expresa en nuestro próximo dibujo.

En estas condiciones es evidente que por el circuito secundario pasará una corriente I_s, cuya intensidad dependerá de la magnitud de la carga.

Esta corriente del secundario creará un flujo que tiende a oponerse a la acción del creado por el primario. Para mantener el valor inicial Φ del flujo, deberá aumentar la intensidad I_p del primario.



Transformador monofásico funcionando con carga.

Ante un aumento de la intensidad del primario, la caída óhmica y las pérdidas en el hierro dejan de ser despreciables como lo eran trabajando en vacío, puesto que I_0 es muy pequeña.

De ahí que, al trabajar con carga, la f.e.m. autoinducida en el primario sea algo menor y distinta, por tanto, a la tensión de la red V. De igual forma, tampoco serán iguales la tensión entre los bornes del secundario y la f.e.m. inducida en él, puesto que, con carga, debemos contar con una caída óhmica y una caída inductiva.

Cuando por el secundario circula una corriente se crea un flujo, cierto; pero no todo se cierra por el núcleo oponiéndose al flujo Φ creado por el primario. Una parte (muy pequeña) se cierra por el aire y constituye el flujo de disipación del secundario.

Lo que antecede son cuestiones técnicas que es bueno conocer, de las cuales debe recordar que la intensidad I_0 del primario (trabajando en vacío) es despreciable; y que, con carga, se crea un flujo en el secundario cuya tendencia es oponerse al flujo Φ del primario.

Este flujo secundario lo creará un cierto número de amperivueltas (las representaremos por A_s) igual al producto de la intensidad del secundario I_s y del número de espiras:

$$R_s = I_s \times m_s$$

Estos amperivueltas (el flujo que crean) debe compensarlas el primario mediante un incremento de su intensidad, que ya no será I_0, sino $I_0 + I'_p$ si llamamos I_p al incremento de la intensidad que requiere el primario para contrarrestar el efecto del flujo creado por los amperivueltas A_s del secundario. Ahora, pues, la intensidad del primario, será:

$$I_p = I_0 + I'_p$$

Esta intensidad I_p' servirá para crear el número de amperivueltas iguales y opuestos a A_s y mantener invariable el flujo Φ. Es decir:

$$A_s = A_p$$

Y como $A_p = I_p' \times m_p$, podemos escrbir:

$$I_s \times m_s = I'_p \times m_p$$

Hemos repetido varias veces que I_0 era muy pequeña y que prácticamente podíamos despreciarla. Por tanto, podemos suponer que $I_p = I_p'$, gracias a lo cual la igualdad anterior se convierte en la práctica en esta definitiva relación:

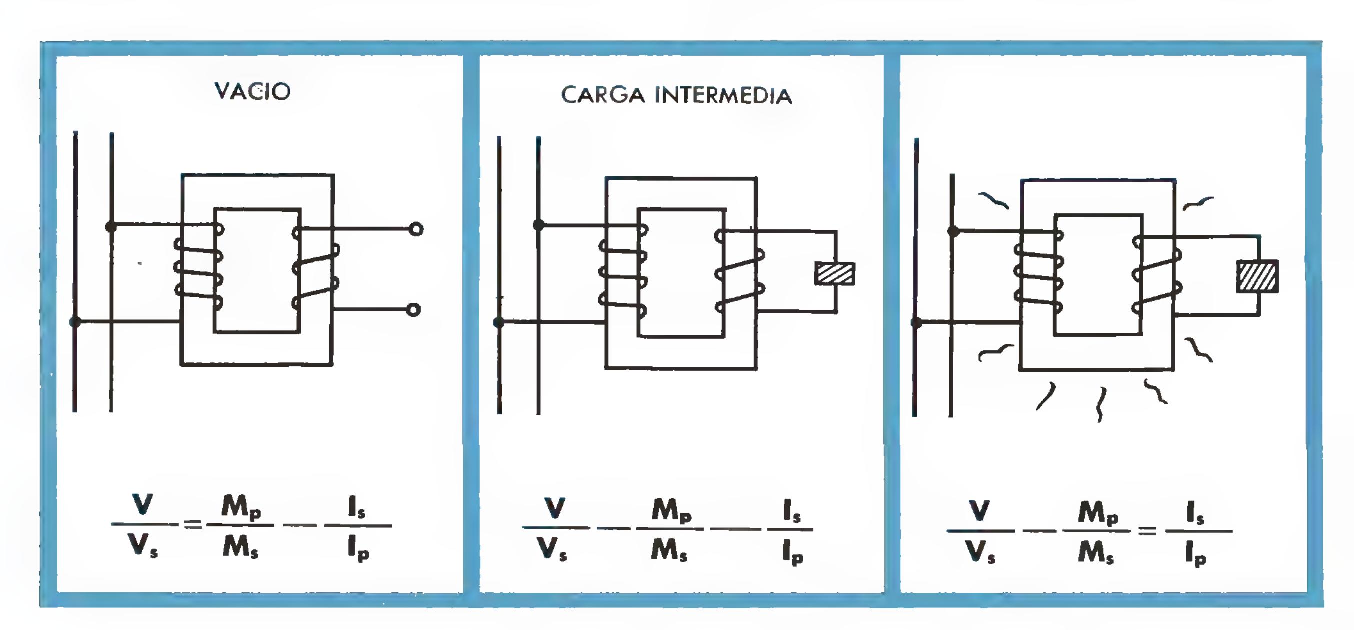
$$I_s \times m_s = I_p \times m_p$$

O bien,

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{m_p}{m_s}$$

Es la SEGUNDA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN, que nos dice que *las intensidades del primario y del secundario son inversamente proporcionales al número de espiras.*

Este enunciado es tanto más cierto cuanto más a plena carga funcione el transformador.



Además, como el miembro $\frac{m_p}{m_s}$ figura en las dos relaciones de transformación, podemos igualar los segundos miembros:

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{m_p}{m_s} = \frac{V}{V_s}$$

Estamos ante una triple igualdad; dos miembros iguales a un tercero, que deben ser iguales entre sí:

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{V}{V_s}$$

Expresión que se convierte en ésta:

$$I_s \times V_s = I_p \times V$$

¡Fíjese! La potencia en el secundario es igual a la potencia en el primario.

Así es en teoría y así puede aceptarse en la práctica, dado que el rendimiento de un transformador es muy elevado; del orden de 0'9.

Ahora bien; la relación entre espiras e intensidades sólo se cumple a plena carga y la relación entre espiras y tensiones se cumple sólo en vacío. En todos los casos intermedios, las fórmulas que hemos deducido son únicamente *muy aproximadas*.

Veamos un ejemplo

Tenemos un transformador conectado a una red alterna de 100 V. Tiene un primario de 100 espiras y un secundario de 50 espiras conectado a una carga C que absorbe 10 A. Debemos calcular la tensión en el secundario y la intensidad en el primario.

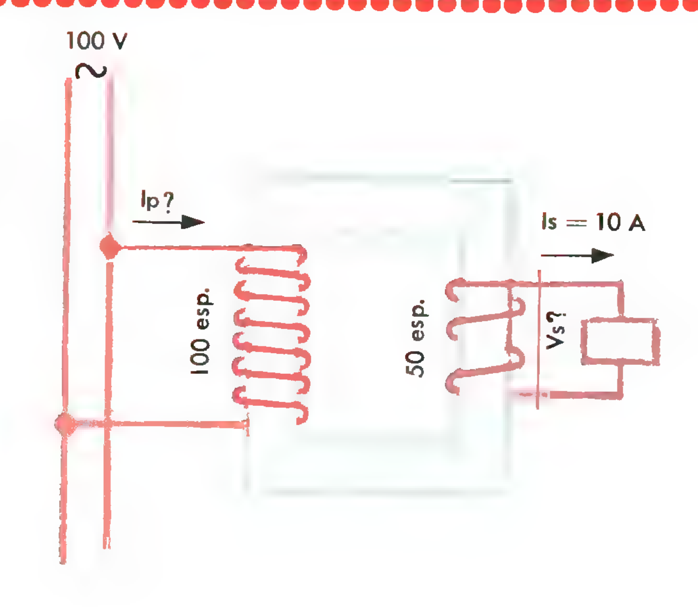
SOLUCIÓN

$$\frac{m_p}{m_s} = \frac{V}{V_s}$$

$$\frac{100}{50} = \frac{100}{V_s}; \quad V_s = \frac{100 \times 50}{100} = 50 \text{ V}$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{m_p}{m_s}$$

$$\frac{10}{I_p} = \frac{100}{50}; \quad I_p = \frac{50 \times 10}{100} = 5 \text{ A}$$



Condensando todo lo que hasta aquí hemos aprendido sobre transformadores monofásicos, llegamos a la conclusión de que, si las potencias aparentes en el primario y secundario son iguales, lo que ganemos en tensión se pierde en intensidad; y viceversa, claro. De aquí sale una clasificación importante que agrupa a los transformadores en dos grandes familias:

TRANSFORMADORES REDUCTORES	**Primario**	**Alta tensión, baja intensidad**
	Secundario	**Baja tensión, alta intensidad**
TRANSFORMADORES ELEVADORES	**Primario**	**Baja tensión, alta intensidad**
	Secundario	**Alta tensión, baja intensidad**

TRANSFORMADORES TRIFASICOS

Los transformadores que hemos estudiado son los de uso normal para elevar o reducir las tensiones que encontramos en instalaciones domésticas. Son los que conectamos tranquilamente a una toma de corriente de 125 ó 220 V, por ejemplo.

Pero ya sabemos por experiencia propia que la corriente alterna no se contenta con soluciones sencillas; sino que, por su propia naturaleza, parece que se complace en ofrecer sus ventajas siempre y cuando se esté dispuesto a vencer unas dificultades.

Hemos estudiado las corrientes polifásicas, entre las cuales han resultado ser las trifásicas las que mayores ventajas ofrecen. Estas corrientes también requieren una transformación, bien sea reductora (paso de una alta tensión a la tensión de consumo, por ejemplo), bien sea elevadora.

¿Cómo proceder en estos casos? Vamos a dar una idea general de las soluciones más corrientes, pero sin ánimo de profundizar en la cuestión, que aun siendo importante se aparta de la electrotecnia que podemos considerar normal.

Lo más característico de estos transformadores son sus problemas constructivos. Creemos que si el lector, por circunstancias de tipo laboral, llega a prestar sus servicios en una empresa dedicada a su construcción, llegará a ella con las ideas fundamentales y suficientes para ponerse al corriente de las particularidades específicas de estos ingenios.

Cuando se trata de transformar corrientes trifásicas puede procederse de dos formas:

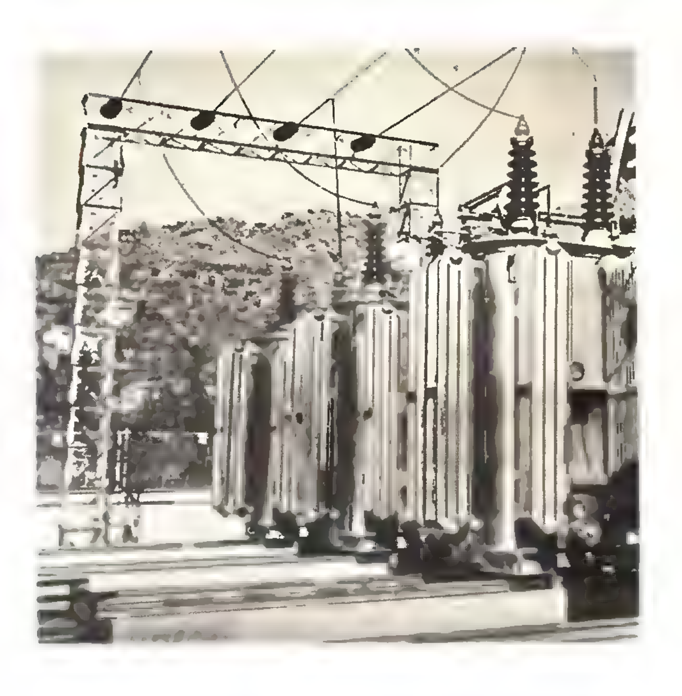
a) Por transformadores monofásicos.

b) Por un transformador trifásico.

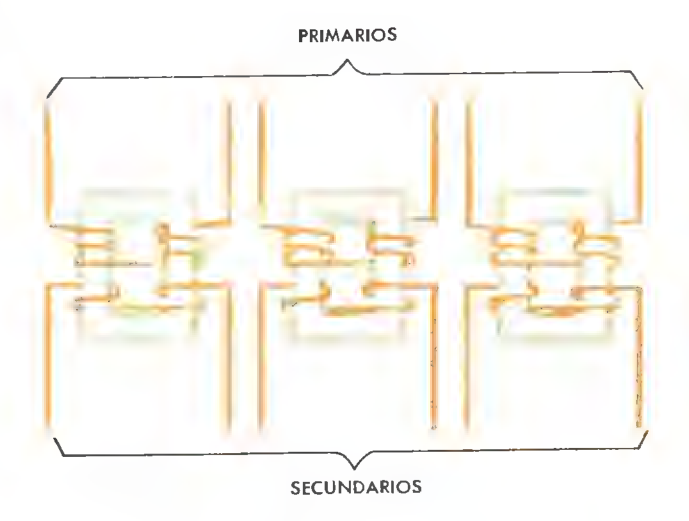
La primera solución sólo se aplica a redes de mucha importancia o cuando por imperativos del transporte no puede pensarse en construir un transformador único. Esta solución, aunque no es la más utilizada, tiene sus ventajas. Al tratarse de tres unidades independientes la reposición por avería es relativamente fácil.

Al conjunto de transformadores independientes se le da el nombre de banco. Ofrecemos la fotografía de uno y su representación esquemática.

La segunda solución es la más frecuente: los circuitos magnéticos no son independientes, sino que se combinan mutuamente interfiriéndose. La forma constructiva de estos transformadores responde a modelos muy variados, que se adaptan en cada caso a las posibilidades de espacio, ubicación, transporte, etc.



Banco trifásico de tres transformadores monofásicos.

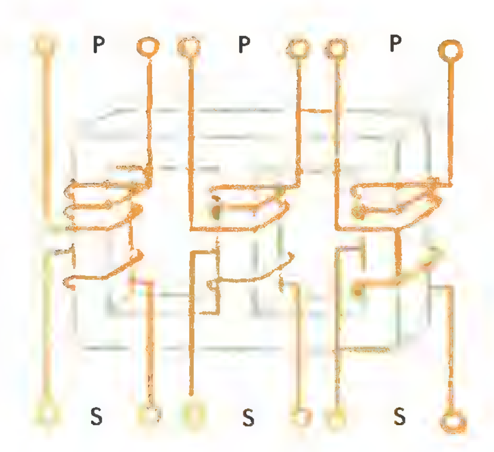


Indicaremos las disposiciones más importantes.

1. Disposición en columnas. Es la que se utiliza en más ocasiones. La verdad es que apenas se emplean otras disposiciones.

Los transformadores trifásicos en columna pueden considerarse como el resultado de la unión de tres núcleos a una columna común. Pero dado que en las corrientes trifásicas los tres flujos quedan defasados 120º entre sí, en cada instante la suma es cero: por la columna central común ja-

más circula ningún flujo; es inútil y puede suprimirse. Nos queda una disposición en estrella sin columna central, de la cual podemos suprimir las culatas A y obtener la disposición de columnas más característica. Al desaparecer las culatas A se produce, ciertamente, un desequilibrio magnético de relativa importancia, justificable por la mayor facilidad de construcción que ofrecen estos transformadores.

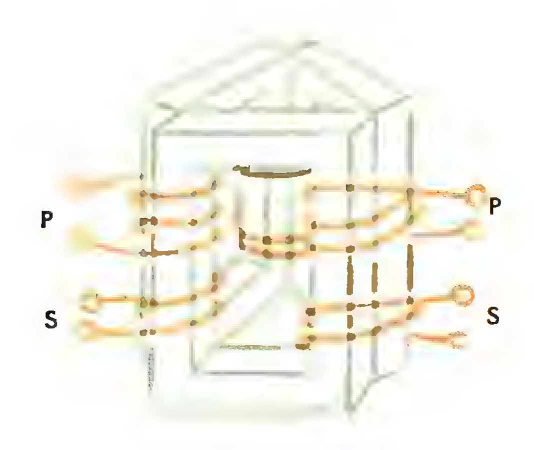


Disposición de columnas más característica.

2. CULATAS EN TRIÁNGULO. Digamos que es la disposición hermana de la anterior, cuyas culatas estaban originariamente en estrella. Por similitud con las corrientes trifásicas en Δ, el flujo de las culatas de un transformador de columnas con culatas en Δ (Φ_k) es igual a

$$\Phi_k = \frac{\Phi_c}{\sqrt{3}}$$

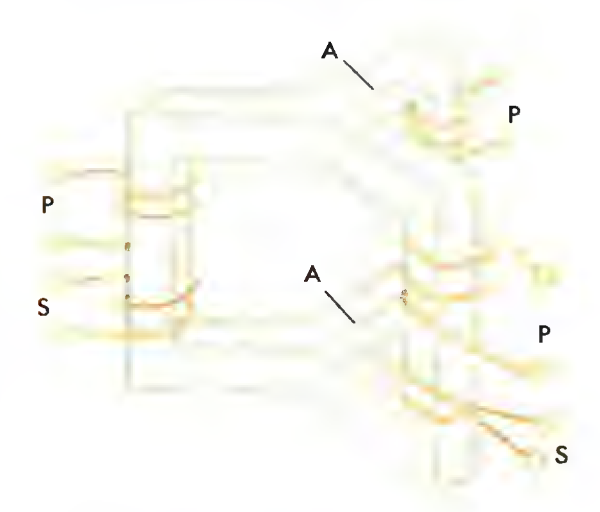
siendo Φ_c el flujo de una columna.



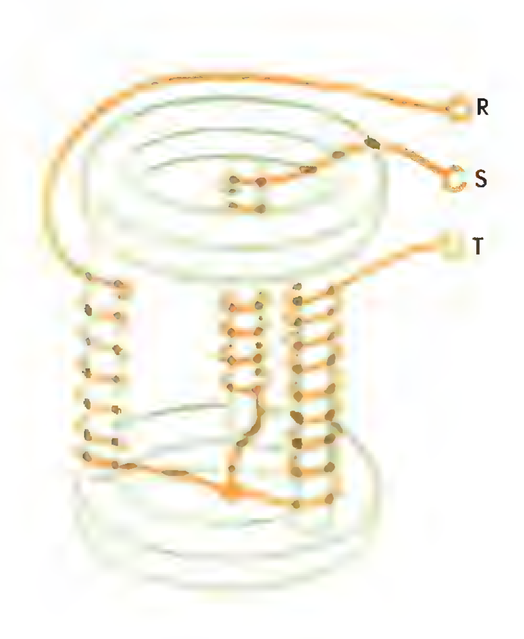
Transformador de columnas con culatas en triángulo.



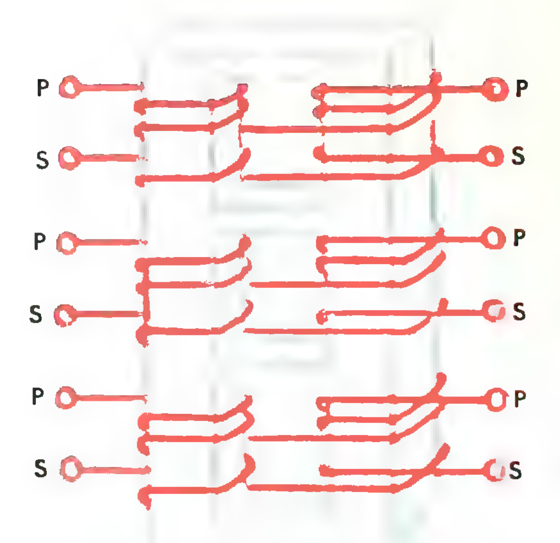
Origen de la disposición de columnas.



Supresión de la columna común.



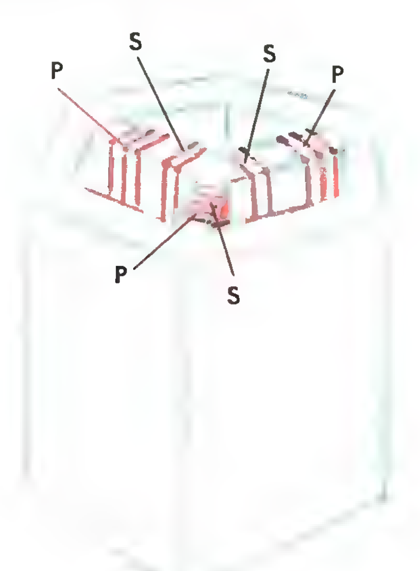
3. A DOBLE COLUMNA. Se trata de una disposición muy poco frecuente, útil a veces por el poco espacio en sentido horizontal que requiere la instalación de un transformador con esta disposición.



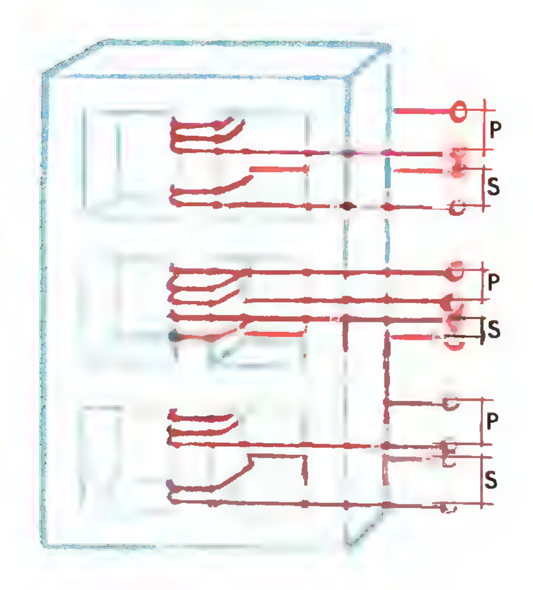
Transformador trifásico dispuesto a doble columna.

TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS ACORAZADOS.

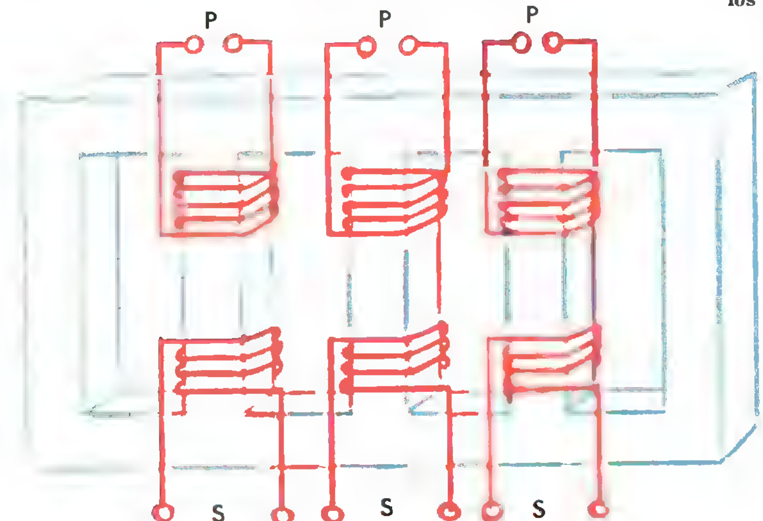
Existen otros tipos de transformadores trifásicos que, por analogía con los monofásicos, vamos a llamar acorazados. Por medio de gráficos vamos a demostrar la forma del núcleo y la disposición de los devanados.



Acorazado con núcleos en estrella.



La particularidad de este transformador está en el devanado central; es de sentido contrario al de los extremos.



Las columnas extremas se colocan para poder disminuir la sección de las culatas, con lo que se logran transformadores de menor altura, dato muy a tener en cuenta a la hora del transporte, sobre todo por ferrocarril.

CONEXION DE LOS DEVANADOS

Hasta aquí hemos representado la forma del núcleo y la disposición de los devanados, considerando libres los bornes de todos ellos. Pero, por tratarse de la transformación de una corriente trifásica, deberemos disponer de un borne por fase, tanto a la entrada (primario) como a la salida (secundario) del transformador.

Esta particularidad implica la conexión de las bobinas entre sí, conexión que puede ser en estrella o en triángulo.

Veamos los conexionados más característicos entre las bobinas de un transformador trifásico.

I. Conexión estrella-estrella (⅄-⅄)

Las tres bobinas del primario y las tres del secundario están conectadas en estrella.

Este conexionado se prescribe especialmente para altas tensiones, debido a que la tensión total se reparte entre dos devanados. Cada uno soporta la tensión de una fase y se reducen los problemas de aislamiento.

Al trabajar con intensidades elevadas, se precisan conductores de gran sección que proporcionan mayor rigidez a los devanados.

Este conexionado permite añadir un neutro al secundario, donde podremos disponer de dos tensiones (luz y fuerza, por ejemplo).

Es fácil advertir que, con este conexionado, en caso de avería en uno de sus devanados el secundario proporciona una corriente monofásica.

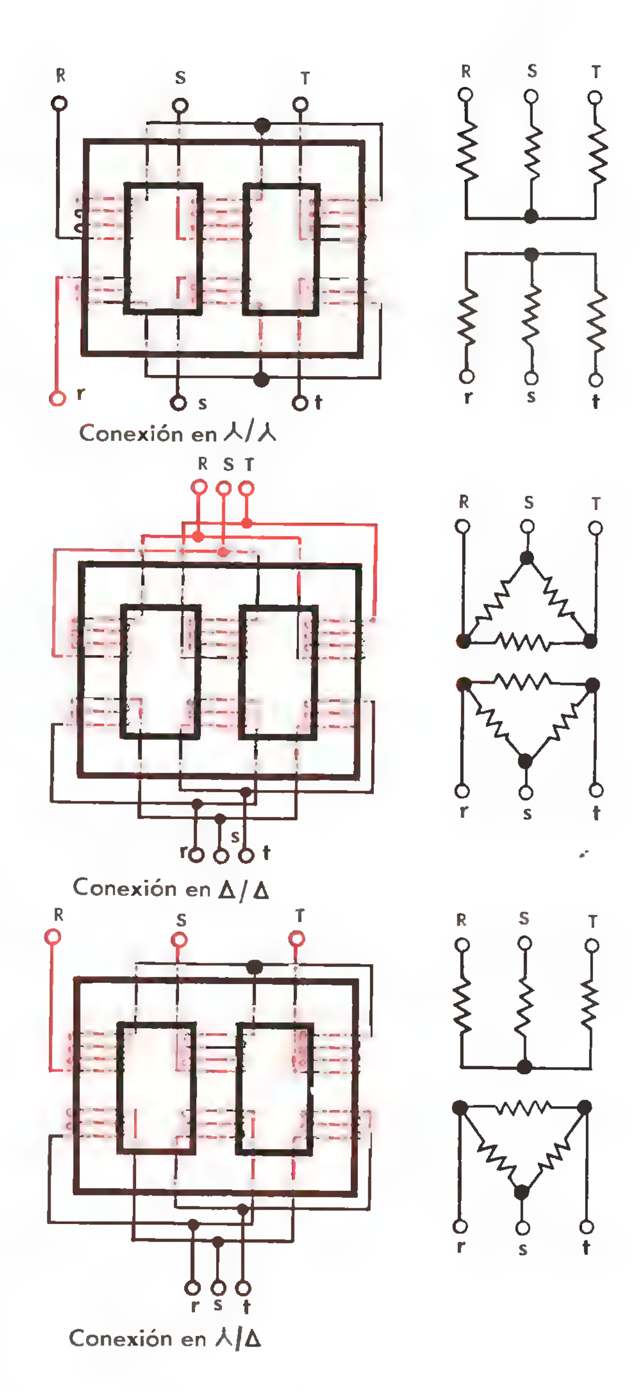
II. Conexión triángulo-triángulo (Δ-Δ)

Las bobinas del primario, así como también las del secundario, están conexionadas en triángulo.

Se trata de un conexionado poco usado por la simple razón de no admitir la toma de neutro.

Observe también que cada devanado debe soportar la tensión total, de donde se deduce que las intensidades serán pequeñas; se precisarán devanados con muchas espiras y reducida sección de conductor.

Es fácil advertir en el esquema que en caso de avería en uno de los devanados sigue toda la red en servicio; lo que ocurre es que la capacidad del transformador queda reducida en un 50 % aproximadamente. Pese a esta ventaja es una solución poco usada por la razón que hemos apuntado al principio.



III. Conexión estrella-triángulo (⅄-Δ)

Cuando no es necesario el neutro en el secundario, es la solución ideal para redes de distribución.

Se comprende que sea la solución para el caso señalado, porque el primario goza de la ventaja de una conexión en estrella (la tensión total queda repartida entre dos devanados) y porque en el secundario tenemos la seguridad de no dejar ninguna fase fuera de servicio en el caso de averiarse un devanado.

IV. Conexión triangulo-estrella (Δ–⅄)

Estamos ante el caso contrario del anterior. En el primario difícilmente nos quedaremos con alguna fase fuera de servicio (ventaja de la conexión en triángulo) y en el secundario la tensión total se reparte entre dos devanados (montaje de la conexión en estrella).

Se comprende —por analogía con el caso anterior— que este conexionado sea ideal para transformadores de estaciones elevadoras a partir de los cuales deban alimentarse grandes líneas de transporte de energía.

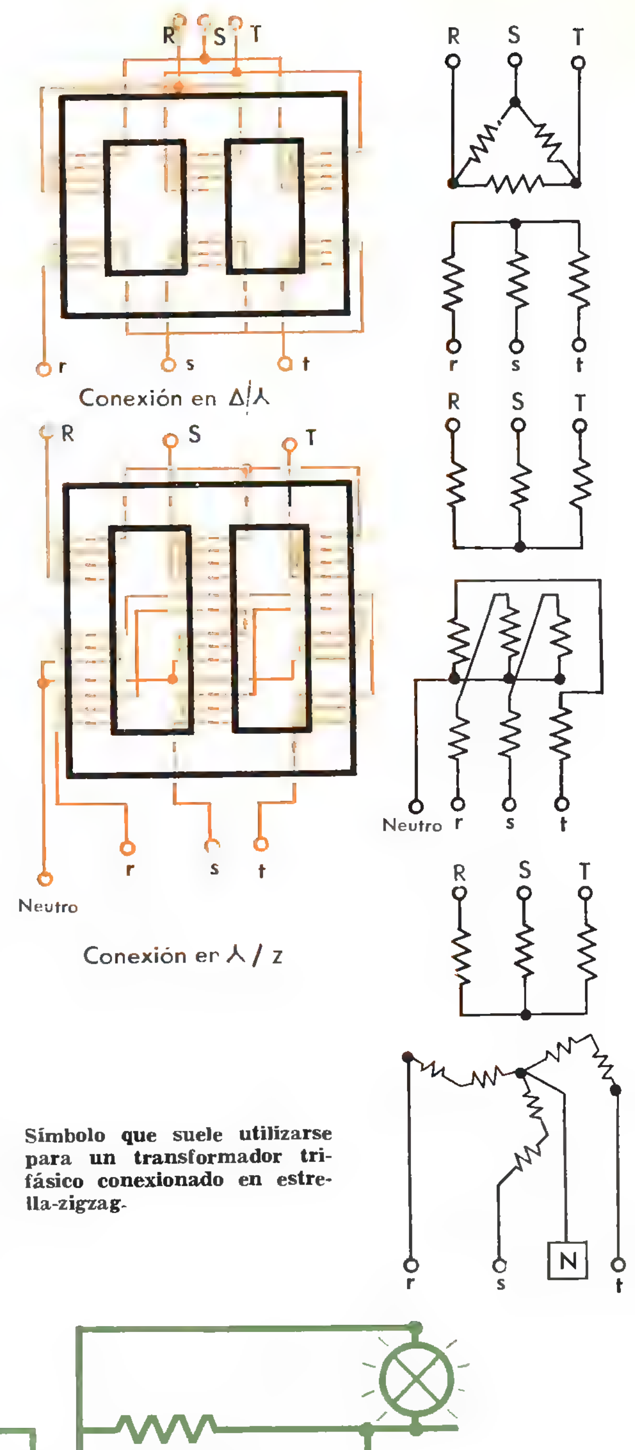
V. Conexión estrella-zigzag (⅄–Z)

Se trata de un conexionado particularmente interesante cuyo funcionamiento deseamos detallar un poco.

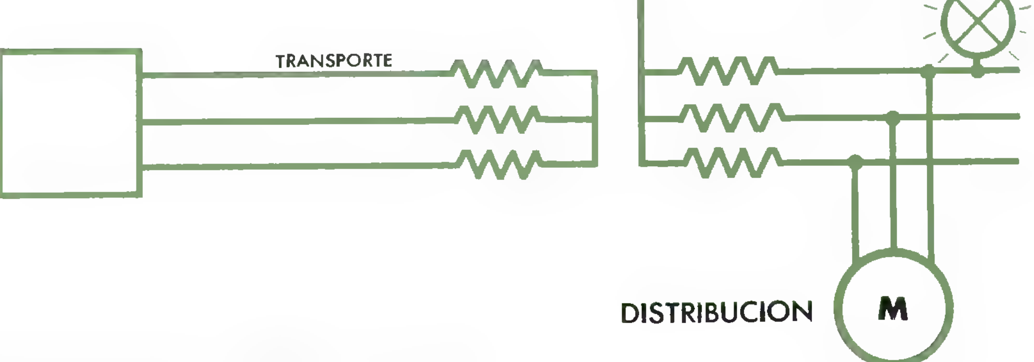
Si observa la representación esquemática y las representaciones simbólicas que adjuntamos, verá que lo singular de estos transformadores está en el hecho de que el arrollamiento de cada fase del secundario se ha dividido en dos partes, cada una de las cuales se ha conectado en serie con otra de la siguiente fase.

La conexión ⅄–⅄ con neutro en el secundario, que puede parecer la más lógica, no es recomendable. Con ella se hace el transporte con tres conductores y la distribución con cuatro: tres fases y neutro. Se puede disponer de luz y fuerza, como se representa en el gráfico adjunto.

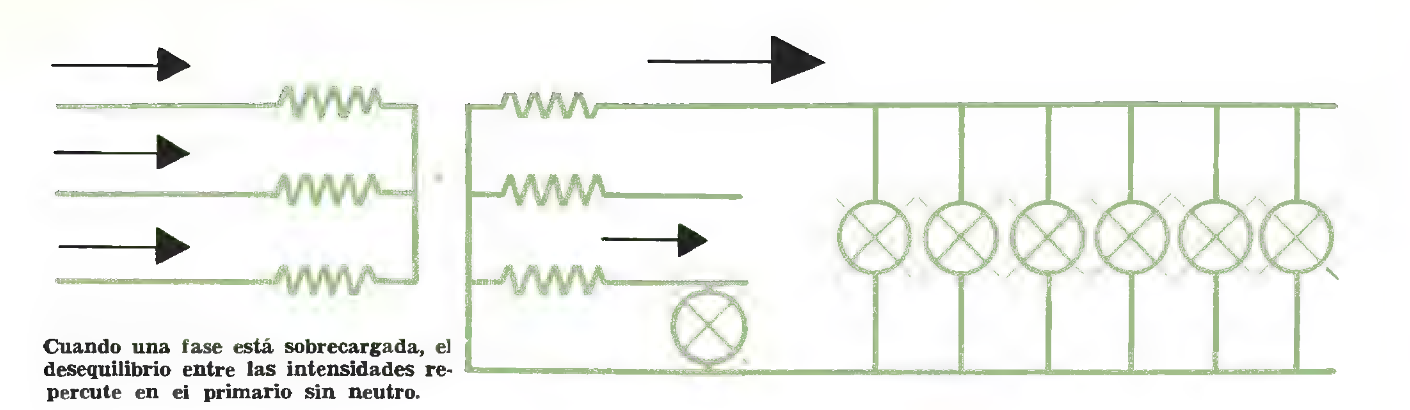
Con esta instalación sucede que si en un momento dado una de las fases queda muy sobrecargada respecto a las demás, lo cual simbolizamos en la figura, al no haber neutro en el primario el aumento de intensidad repercute en las otras dos fases, produciéndose un desequilibrio nocivo que puede ser grave cuando la transformación se hace por medio de un banco de tres transformadores monofásicos.



Símbolo que suele utilizarse para un transformador trifásico conexionado en estrella-zigzag.



Esquema del transporte y distribución de energía con un transformador en estrella.

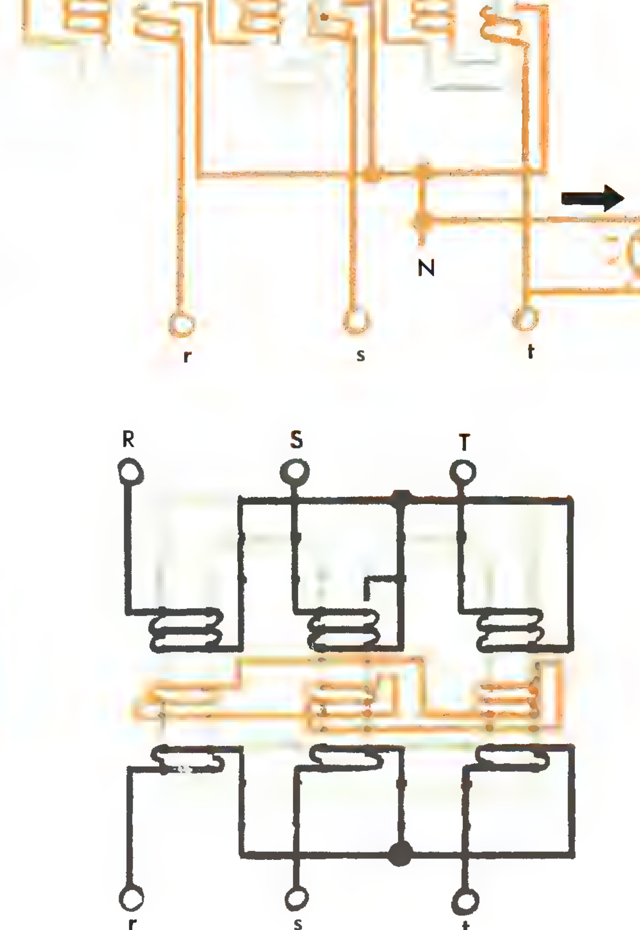


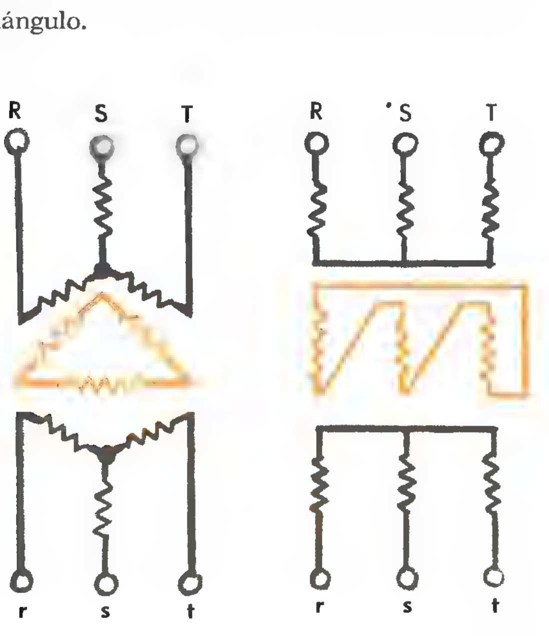
Cuando una fase está sobrecargada, el desequilibrio entre las intensidades repercute en el primario sin neutro.

Vea la próxima figura y suponga que el transformador 1 trabaja muy cargado. Este exceso de carga repercute en los otros dos, cuyos secundarios tienen una carga muy débil en comparación con la que lleva el transformador 1. Resulta de ello que la corriente primaria es excesiva por no encontrar compensación en el secundario. El exceso de corriente primaria se convierte en magnetizante y ocasiona grandes pérdidas.

Para subsanar este inconveniente se recurre a la conexión del secundario en zigzag. La sobrecarga de una fase del secundario repercute en el secundario de la otra. El exceso de carga en el primario se compensa por lo menos en dos fases.

Otra solución destinada a solventar el inconveniente que estamos comentando es la *conexión con devanado terciario*. Entre el primario y el secundario se intercala un tercer devanado cerrado en triángulo.





Este tercer devanado se utiliza algunas veces en centrales o estaciones transformadoras para alimentar circuitos auxiliares de control o medidas, servicios de seguridad, socorro, etc.

Símbolo y representación esquemática de un transformador trifásico con devanado terciario.

TRANSFORMACION DE FASES

Todo lo que nos precede sobre transformadores hace referencia al problema de la transformación de tensiones. Hemos concretado la teoría fundamental del transformador al caso más conocido: los transformadores de tensión.

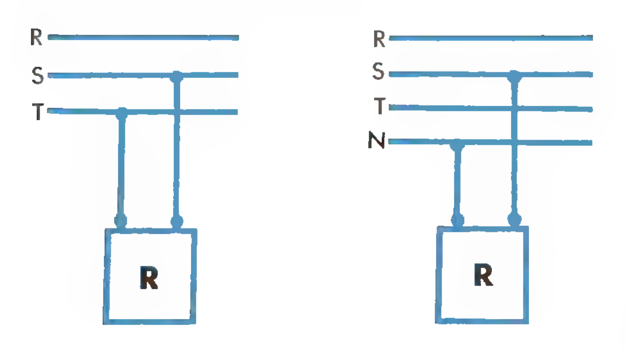
Pero este caso no es único. Existen otros tipos de transformación que interesan al técnico; entre ellos debe contarse la transformación de fases.

En distintas instalaciones eléctricas interesa convertir una corriente trifásica en otra monofásica, o viceversa. Así, veremos que la soldadura eléctrica requiere corrientes monofásicas; o que para transformar una corriente alterna en continua es necesaria una previa conversión en corriente monofásica de la c.a. a transformar en continua.

Es posible solucionar múltiples casos, como, por ejemplo, la transformación trifásica-monofásica y viceversa, trifásica-bifásica, trifásica-hexafásica, etc. De estas transformaciones estudiaremos tan sólo las que ofrecen un interés práctico.

TRANSFORMACIÓN TRIFÁSICA-MONOFÁSICA

Puede parecer que este tipo de transformación es innecesario, o por lo menos lo que en ella puedan ser dispositivos especiales, puesto que conectando un receptor monofásico entre dos fases o entre fase y neutro de una red trifásica habremos solucionado el problema.



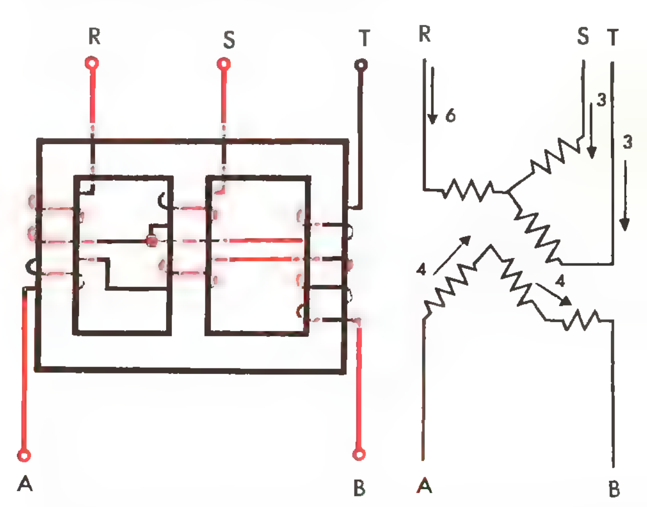
Conectando un receptor monofásico entre dos fases o entre fase y neutro de una red trifásica solucionamos el problema de la transformación de fases.

Pero tal solución solo es admisible para pequeñas potencias que produzcan poco desequilibrio en la red trifásica. Un receptor de gran potencia producirá un desequilibrio excesivo, capaz de alterar el servicio, comparable al que produciría en una polea de un motor un peso que la desequilibrase.

Para conseguir desequilibrios entre fases de un valor aceptable, se han ideado varios sistemas de devanados que reducen dicho desequilibrio a una proporción del orden de 1 es a 2. Es decir: de una fase del sistema trifásico se absorbe doble intensidad que de las otras dos.

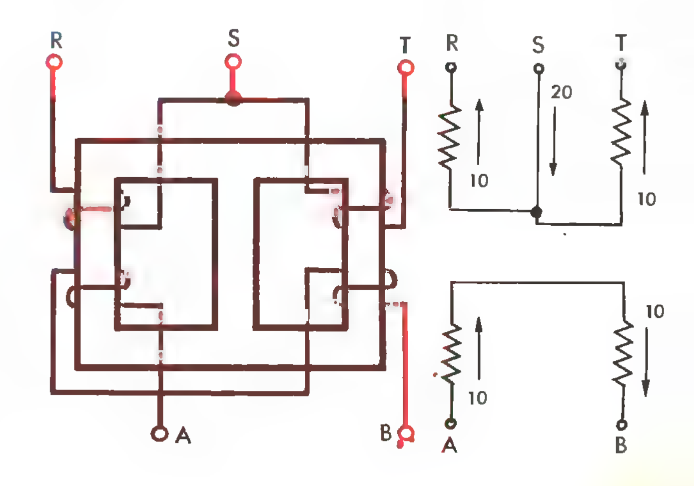
Los dos sistemas más empleados son el ULBRICHT y el SISTEMA A CUATRO DEVANADOS.

El *sistema Ulbricht* conecta el primario en estrella y el secundario en △. La disposición de los devanados puede verse en la figura, donde se muestra la representación simbólica y esquemática de estos transformadores.



Con este sistema, la fase que lleva doble carga es la fase R; por ella pasará doble intensidad y su sección (la del hilo) será también doble.

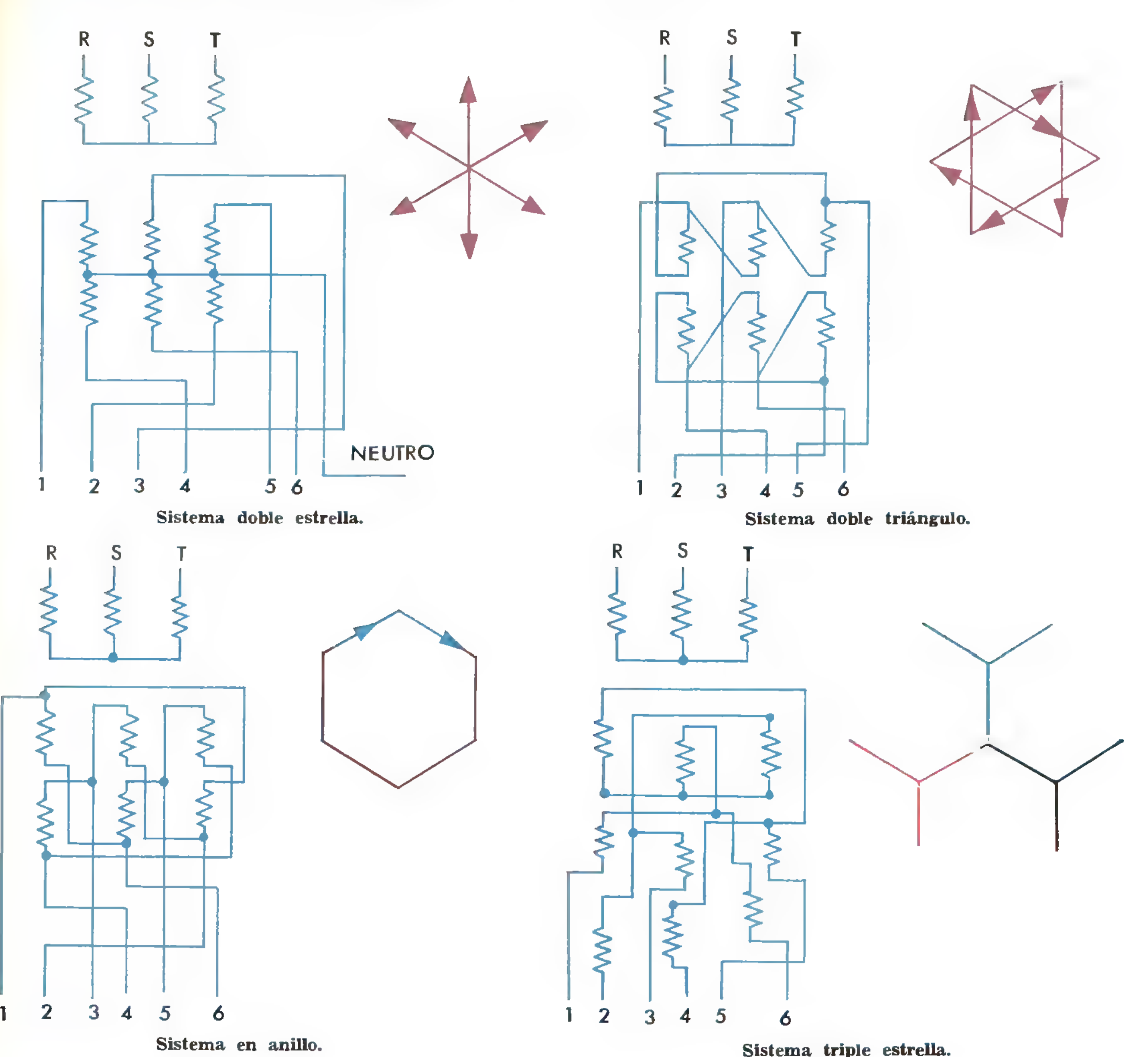
Mediante el *sistema de cuatro devanados*, la corriente de desequilibrio circula por una fase (S) sin devanado y no por los devanados, lo que repercute en un ahorro de hilo de cobre, cuya sección puede ser más pequeña que en el caso anterior.



TRANSFORMACIÓN TRI-HEXAFÁSICA

Es un tipo de transformación de fases cuyo único interés estriba casi exclusivamente en su aplicación en la instalación de estaciones de conversión de corriente alterna en continua.

Por medio de unos pocos gráficos damos una idea de los tipos de conexionados utilizados. El más empleado es el de doble estrella, en cuyo secundario podemos contar seis corrientes defasadas a 60°.



Sistema doble estrella.

Sistema doble triángulo.

Sistema en anillo.

Sistema triple estrella.

TRANSFORMADORES ESPECIALES

Daremos por terminada esta presentación de la familia de los transformadores dando a conocer algunos tipos que, fundamentados en el mismo principio teórico, tienen alguna particularidad que los distingue. Por ejemplo:

TRANSFORMADORES DE MEDIDA. Como su nombre indica, son transformadores destinados a alimentar los aparatos de medida que se instalan en circuitos de alta tensión o de alta intensidad. Su característica particular es la exactitud con que deben calcularse y construirse para evitar que falseen las lecturas.

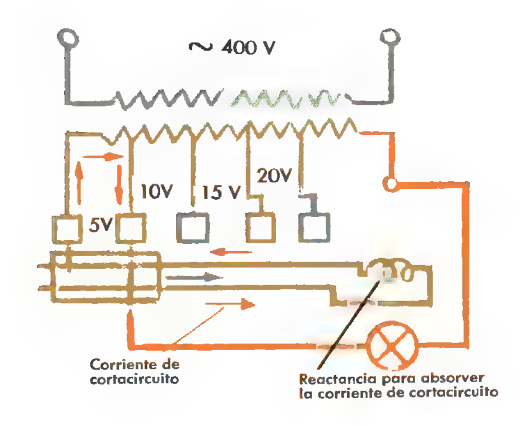
Tales transformadores (que pueden ser de tensión o de intensidad) responderán a un grado de exactitud normalizado en función de las características eléctricas a que deben responder.

TRANSFORMADORES MÚLTIPLES. Se trata de transformadores que llevan varios primarios o varios secundarios devanados sobre un mismo núcleo. De esta forma pueden alimentarse a distintas tensiones y proporcionar distintas transformaciones.

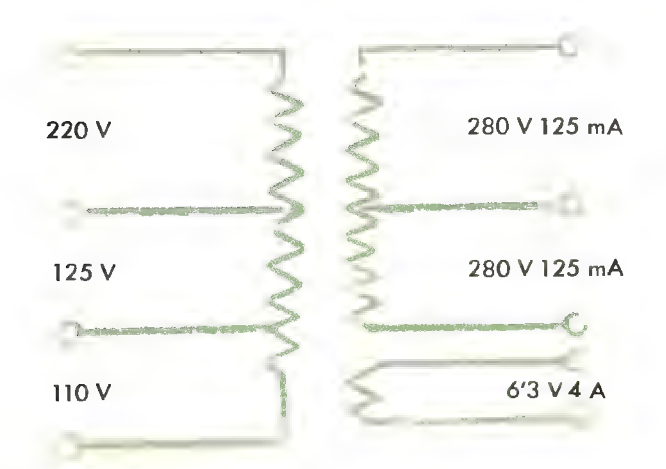
Pueden ser de devanados continuos o de devanados discontinuos (interrumpidos).

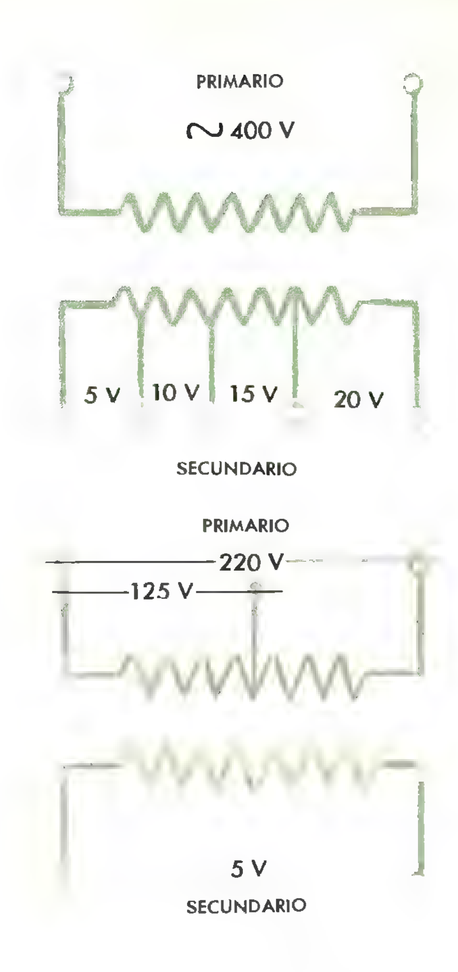
En los primeros se derivan las tomas de diversos puntos del devanado (previamente calculados, claro); tienen especial aplicación en reguladores sin interrupción de circuito. Estos reguladores actúan por medio de una corredera que cierra el circuito entre dos tomas consecutivas del secundario. Debe disponerse una reactancia para absorber la intensidad de cortocircuito que se produce cuando la corredera cierra dos tomas consecutivas.

Los transformadores múltiples de devanado interrumpido se utilizan cuando se desean varias redes a distinta tensión.



Vea el esquema y la fotografía de un pequeño transformador múltiple, cuyo primario es de devanado continuo y cuyo secundario ofrece una doble toma a 280 V y una toma a 6'3 V.





Transformadores múltiples.

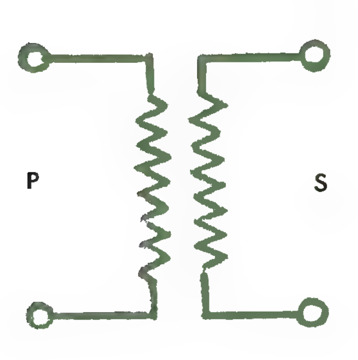


AUTOTRANSFORMADORES

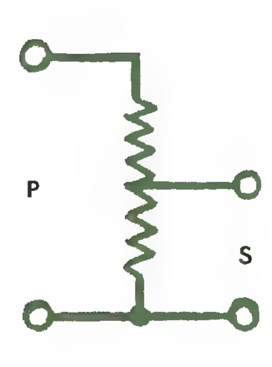
Reciben este nombre unos transformadores especiales que difieren notablemente de los normales. Su característica consiste en tener un solo arrollamiento, del que se derivan las tomas del primario y del secundario. Dicho de otra forma: los arrollamientos primario y secundario son uno mismo.

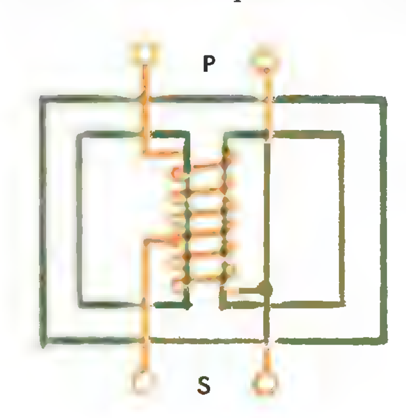
Es evidente que estos transformadores representan una notable economía de hierro, cobre y espacio, con las consiguientes disminuciones de precio y pérdidas en el hierro y en el cobre, lo que redunda en un mayor rendimiento.

Sin embargo, los autotransformadores presentan dos graves inconvenientes que limitan su uso.

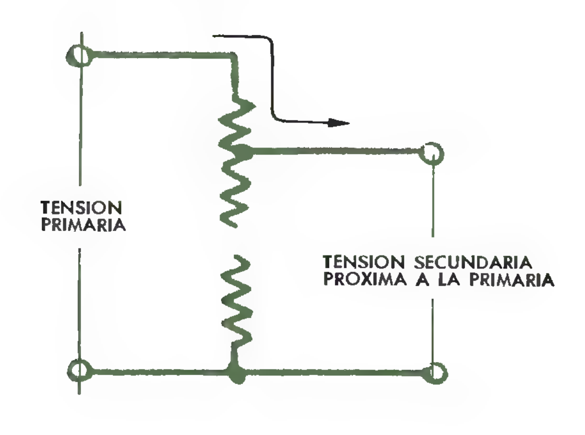


Transformador normal.





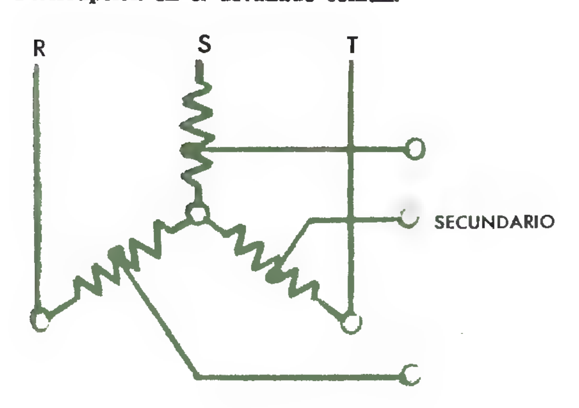
Autotransformador.

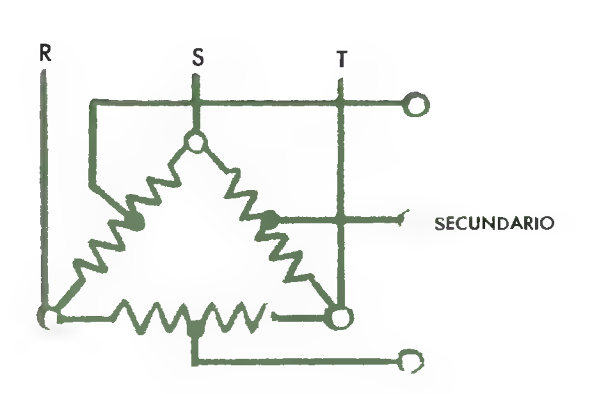


Interrupción en el devanado común.

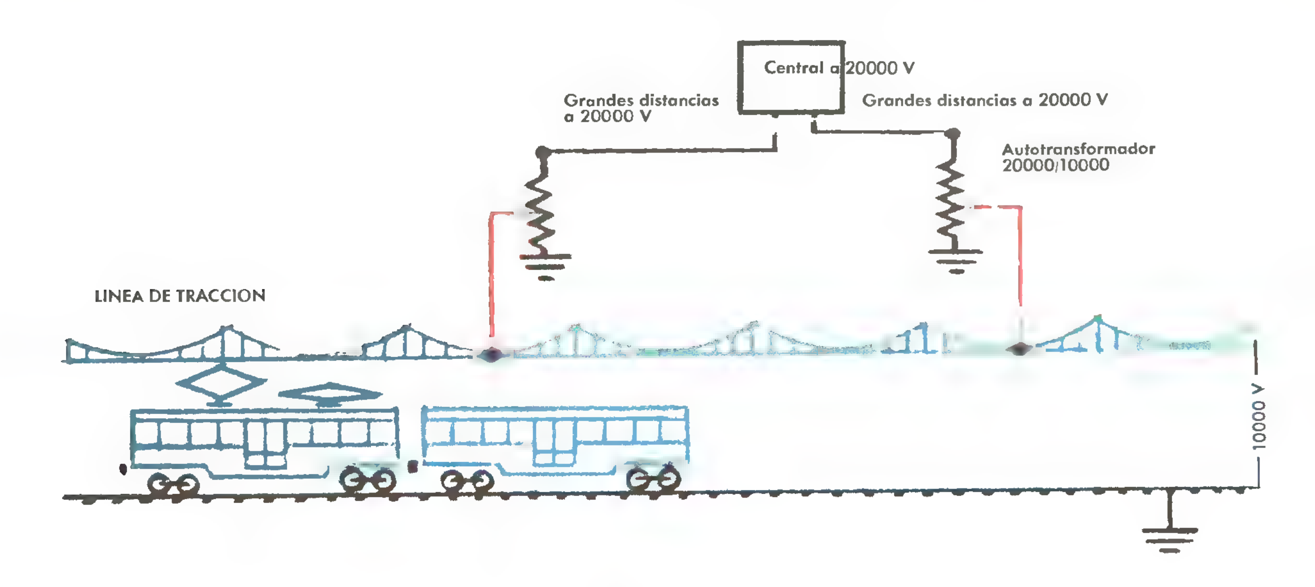
El primer inconveniente se deriva del hecho de que el primario y el secundario están unidos eléctricamente por un solo devanado. En estas circunstancias, si por cualquier motivo la tensión del secundario alcanza un valor muy próximo a la del primario puede producirse una interrupción del devanado común, con el consiguiente peligro para las personas y las instalaciones.

Por otra parte en los autotransformadores trifásicos las conexiones del primario y del secundario deben ser forzosamente iguales (ambas en triángulo, en estrella, etc.), resultando imposible eliminar las ventajas que vimos al estudiar estas conexiones.





Los autotransformadores se aplican generalmente cuando las tensiones primaria y secundaria difieren poco; como, por ejemplo, en la interconexión de redes sensiblemente iguales. En el caso concreto de los conductores de alimentación de los vehículos de tracción eléctrica la central proporciona 20.000 V que se llevan a los autotransformadores reductores que rebajan la tensión a 10.000 V para alimentar la línea de tracción. Ambas tensiones difieren poco.



ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

La estructura mecánica de los transformadores

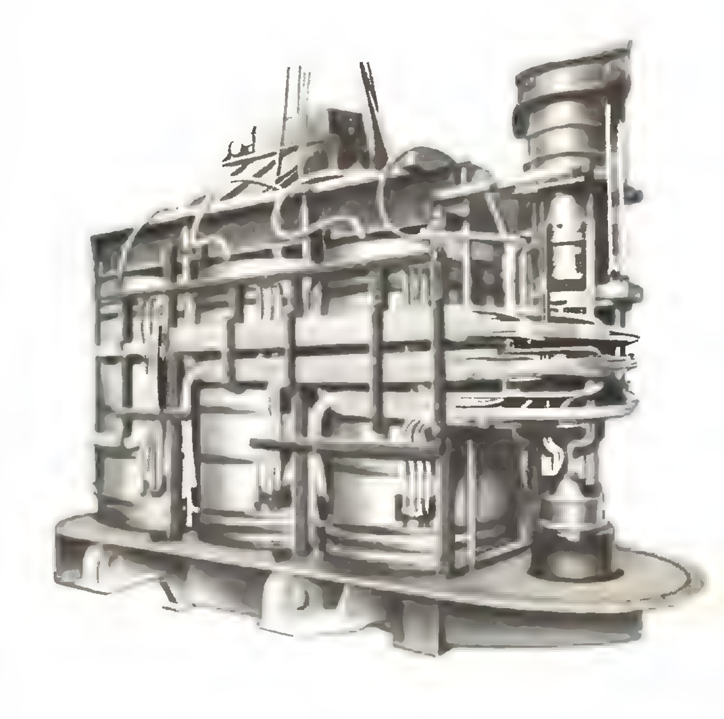
En el capítulo de PRÁCTICAS encontrará la descripción de la forma que adoptan los pequeños transformadores. Nada hay en ellos que represente una complicación mecánica; son aparatos sencillos.

Pero no es así para grandes transformadores En este caso, el problema constructivo es mucho más complejo. Su núcleo, por ejemplo, es una verdadera estructura metálica que puede adoptar formas muy distintas según el fabricante, aunque su sección casi nunca se aparte de los tipos clásicos: cuadrados, rectangulares, cruciformes y escalonados, con o sin canales de ventilación.

La verdad es que no pretendemos hacer un estudio detallado de los problemas que entraña la construcción de grandes transformadores. Se trata de una industria especializada, con sus particularidades y *secretos* profesionales, que *debe vivirse* para poder decir que realmente se conoce.

Preferimos mencionar algunos detalles de índole general y añadir algunas ilustraciones, suficientes para dar una idea fundamental de la complejidad de estos paratos, cuyo volumen, peso y potencia eléctrica representan serios problemas.

Es fácil comprender que el bobinado de grandes transformadores requiere técnicas especiales. Lo más usual es que la bobina perteneciente a un



Vista interior de un transformador trifásico de 30.000 KW. Es suficiente esta ilustración para percatarse de la complejidad de su estructura.



Vea las columnas de un transformador trifásico. Para unir las chapas de los núcleos se utilizan tornillos o tirantes envueltos en un tubo aislante a fin de no cortocircuitar las planchas.



Este es un núcleo escalonado mostrando su sección. En ella apreciamos una zona diametral con canales de ventilación.

núcleo se construya por secciones bobinadas con maquinaria especial. Estas secciones se impregnan de aislante líquido (laca, barniz, aceites. etcétera) y, previa una operación de secado en unos depósitos especiales (tanques de secado al vacío), se montan en el núcleo estableciendo una separación entre cada sección del bobinado.

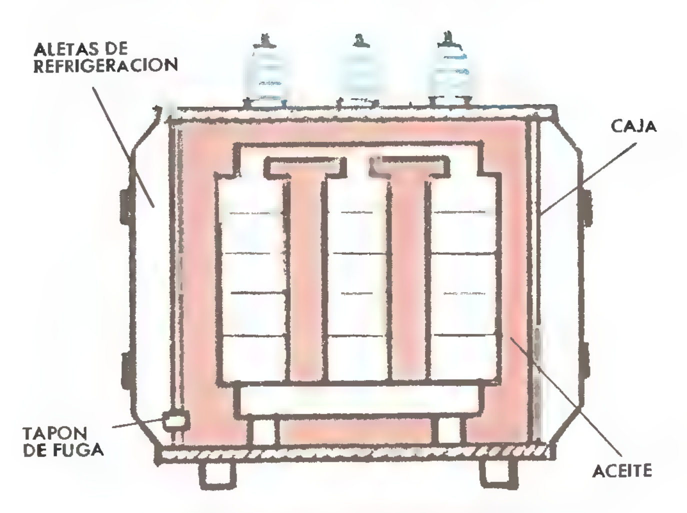
Pueden montarse sobre tubos de papel baquelizado y con separadores de madera secada y aceitada.



Bobinas planas montadas sobre tubo de papel baquelizado. Advierta la situación de los separadores de madera.



Transformador con caja de aceite con aletas de refrigeración y depósito para carga de aceite (DIESSA). 3.000 KVA.



Esquema representativo del transformador representado fotográficamente.

Las bobinas se construyen con hilo o pletina de cobre barnizado, aislado con cubierta textil.

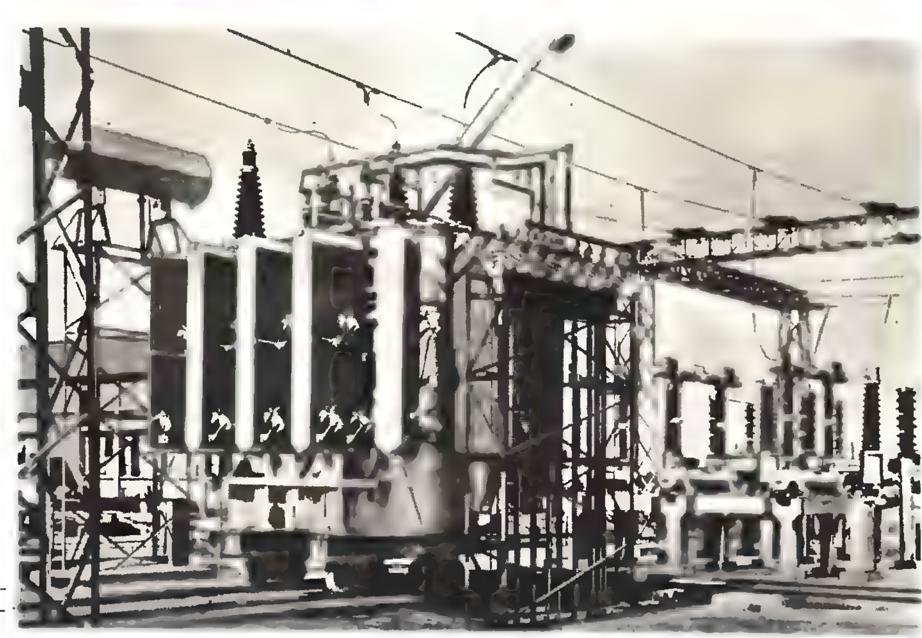
Los grandes transformadores, y también los de tipo mediano, llevan sus devanados inmersos en un baño de aceite que cumple dos funciones: aislamiento y refrigeración. Esta circunstancia requiere rodear al transformador propiamente dicho de una caja capaz de contener el aceite; caja que puede ser de paredes planas, onduladas, con tubos o con radiadores adicionales, según las necesidades de refrigeración que exija el tipo de transformador y el lugar de emplazamiento.

Estas cajas para aceite de que hemos hablado responden fundamentalmente a dos tipos: para ventilación natural y para ventilación forzada.

Ha visto un ejemplo de los primeros; con ventilación natural facilitada por el aumento de superficie que proporcionan los alerones que circundan la caja de aceite. Otros modelos llevan ventanas de refrigeración o radiadores tubulares que aumentan considerablemente la superficie de refrigeración.



Transformador de 30.000 KVA con ventilación forzada.



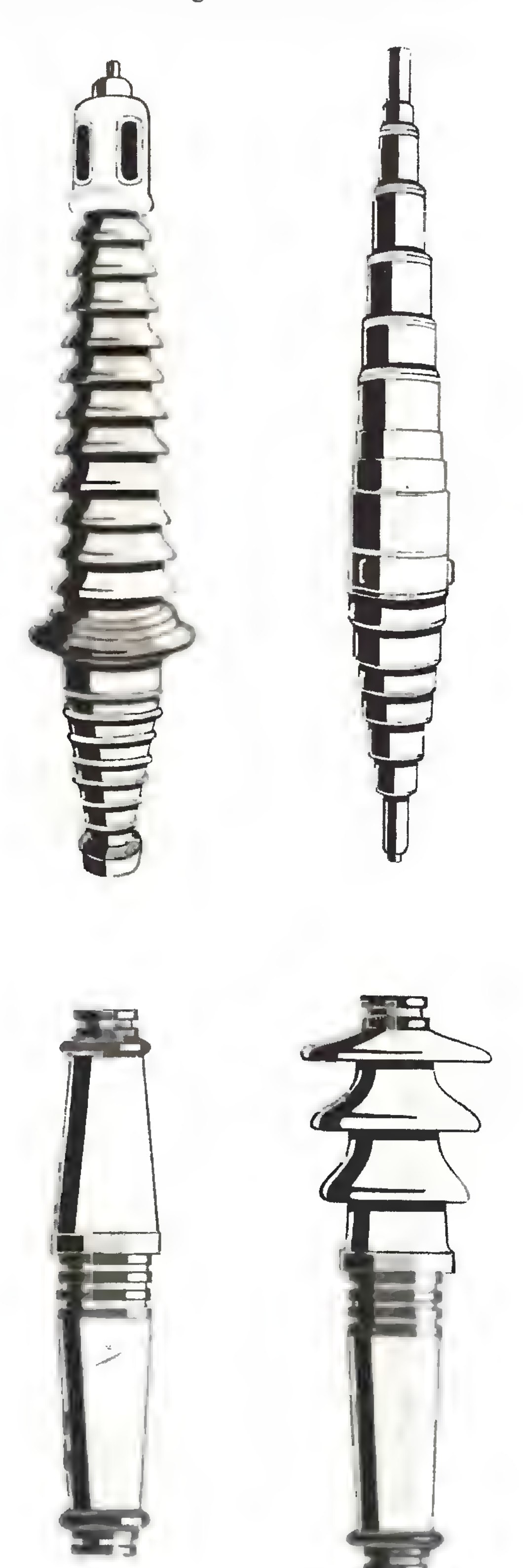
Transformador trifásico con radiadores adosados (G.E.E.). Ventilación exterior auxiliar.

Los transformadores con refrigeración forzada suelen tener lisa la caja. El sistema de ventilación es interior, en forma de canales por los que se hace circular aire impulsado por uno o más ventiladores.

Como es fácil comprender, el aceite para transformadores es un producto de notable importancia; se vienen ensayando otros materiales incombustibles e inexplosivos que puedan sustituirlo. Uno de ellos es el llamado PYRANOL; una patente americana.

Como final, digamos que en estos transformadores intervienen muchas piezas que es difícil catalogar por modelos, puesto que su forma depende directamente de las necesidades específicas derivadas de los deseos del constructor. Entre estos *elementos varios* podemos destacar los aisladores o pasamuros que sirven para obtener el paso de los conductores que unen los bornes exteriores con el conexionado interno de las bobinas. Existen diversas formas y sistemas, según fábrica y tensión a soportar.

Con unos pocos gráficos demostrativos de la forma de estos aisladores, consideramos que nuestra misión se ha cumplido: hacer que usted, amigo que nos sigue, tenga una idea fundamental de la estructura de los grandes transformadores.



Algunos modelos de aisladores o pasamuros que protegen el paso de los conductores que unen el conexionádo interno con ia instalación exterior.



16

CALCULO Y CONSTRUCCION DE PEQUEÑOS TRANSFORMADORES

El técnico busca la simplicidad; tiende a la normalización del trabajo basando sus decisiones en datos obtenidos con antelación y que responden a unas condiciones exigibles en cada problema concreto.

Ahorrar tiempo es una necesidad; ahorrar cálculos cuando técnicamente es posible es, además, una positiva ventaja. De ahí que los datos a que antes nos hemos referido sirven para confeccionar tablas y ábacos de cálculo que el profesional utiliza siempre que aquello que se propone construir o instalar puede admitir cierta tolerancia. Cuando la naturaleza de los cálculos a efectuar se refiere a casos cuyo éxito depende de una extrema exactitud, no existirá otra solución que enfocar el problema apoyándonos en un correcto planteo matemático.

Pero no es éste el caso de los pequeños transformadores de aplicación corriente. En su cálculo y construcción puede procederse con un suficiente margen de tolerancia (que no altera el rendimiento) que permite aceptar por buenos los resultados obtenidos directamente de unos ábacos estructurados exprofeso para solucionar una de las construcciones más comunes en un taller: la de pequeños transformadores.

Este capítulo de PRÁCTICAS queda enteramente destinado a dar las normas oportunas para que el lector, sin necesidad de operaciones, pueda calcular con éxito un transformador de poca potencia.

LOS ABACOS

Tres son las cuestiones a tomar en consideración para el cálculo práctico de pequeños transformadores:

a) La superficie de la sección del núcleo magnético.

b) El número de espiras del primario y el número de espiras del secundario.

c) El diámetro del hilo de cobre esmaltado que deberá emplearse para bobinar el primario y el secundario.

CALCULO DE LA SECCION DEL NUCLEO - ABACO I

Para calcular la sección del núcleo magnético del transformador necesitamos conocer la tensión y la intensidad que debe proporcionar el secundario. Con ambos datos conoceremos la potencia en vatios que tendremos a la salida del transformador.

Con tales datos y el ábaco I solucionaremos nuestra primera incógnita. Estudiemos este ábaco:

En su eje vertical y de abajo hacia arriba queda indicado el valor de la potencia en volt-amperios o vatios (es lo mismo, puesto que $W = V \times I$), mientras que en el eje horizontal y desde el valor 1 al valor 100 están los centímetros cuadrados de la sección del núcleo.

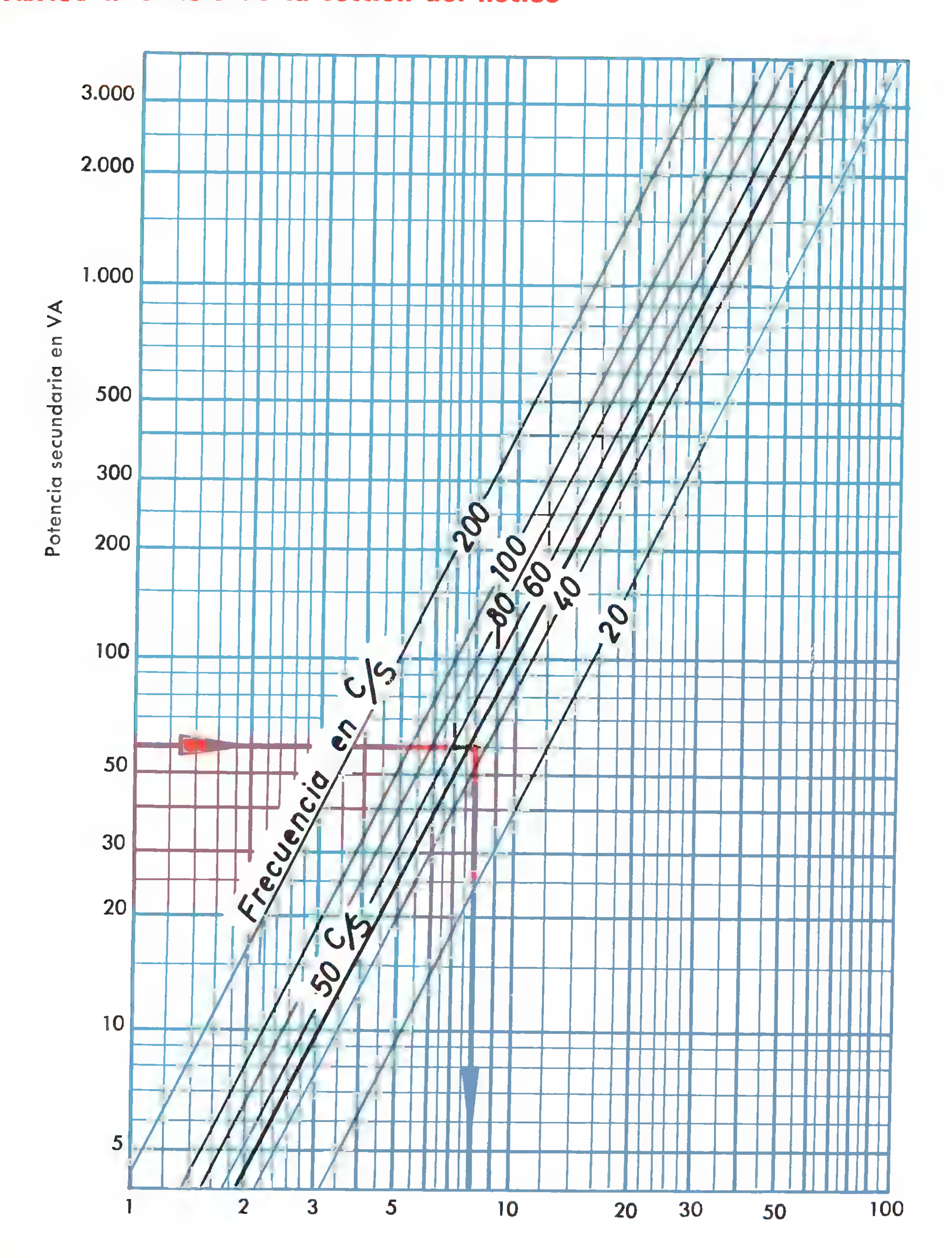
Situadas en diagonal aparecen siete inclinadas que relacionan la potencia y la sección del núcleo según la frecuencia de la corriente aplicada al transformador. Observe que la recta correspondiente a los 50 ciclos por segundo se destaca por su mayor grueso.

Así, por ejemplo, si deseamos que la tensión en el secundario de un transformador sea de 20 V, con una intensidad de 3 amperios, ¿qué sección deberemos dar al núcleo del transformador?

Si, como es normal, la frecuencia es de 50 c/s, siendo la potencia de $20 \times 3 = 60$ vatios, buscaremos en el eje vertical del gráfico el punto que corresponde a una potencia de 60 W. Partiendo de este punto trazaremos una horizontal hasta cortar la diagonal de los 50 c/s. A partir de este punto de intersección bajaremos una vertical que, al cortar el eje horizontal indicativo de la sección del núcleo, nos indicará el valor deseado.

Vea el ábaco I y comprobará que para una potencia de la salida del secundario de 60 W necesitamos una sección de núcleo de 8 cm².

ABACO I. Cálculo de la sección del núcleo

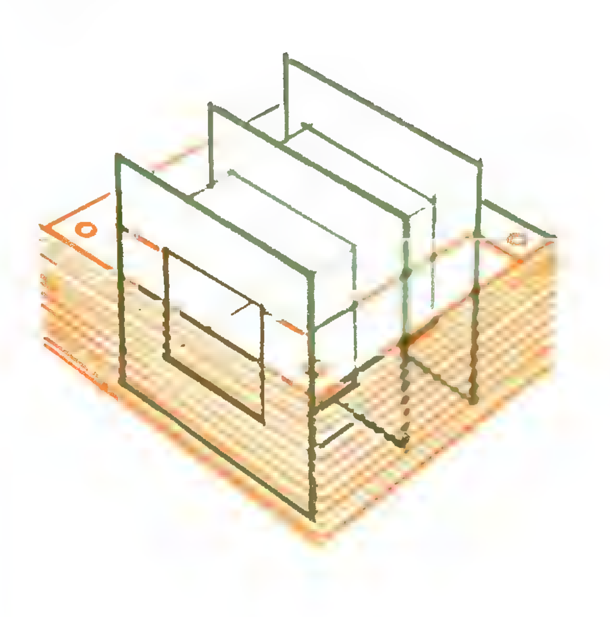


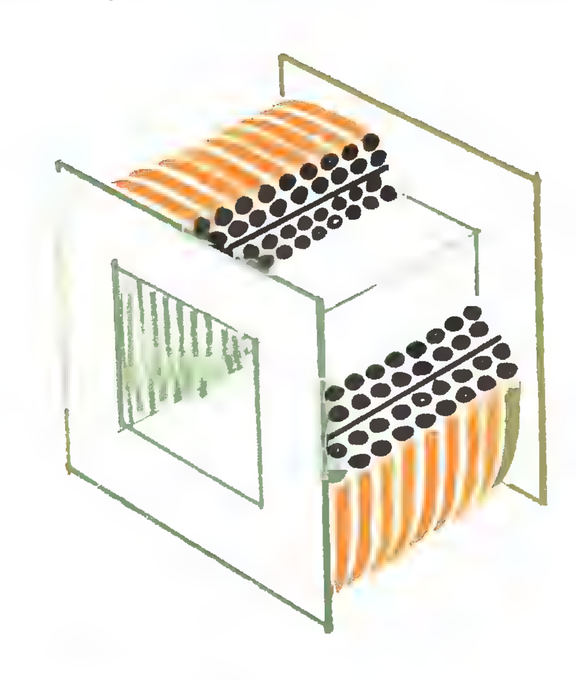
CHAPAS PARA TRANSFORMADORES

Hemos llegado a una primera conclusión: la superficie de la sección del núcleo.

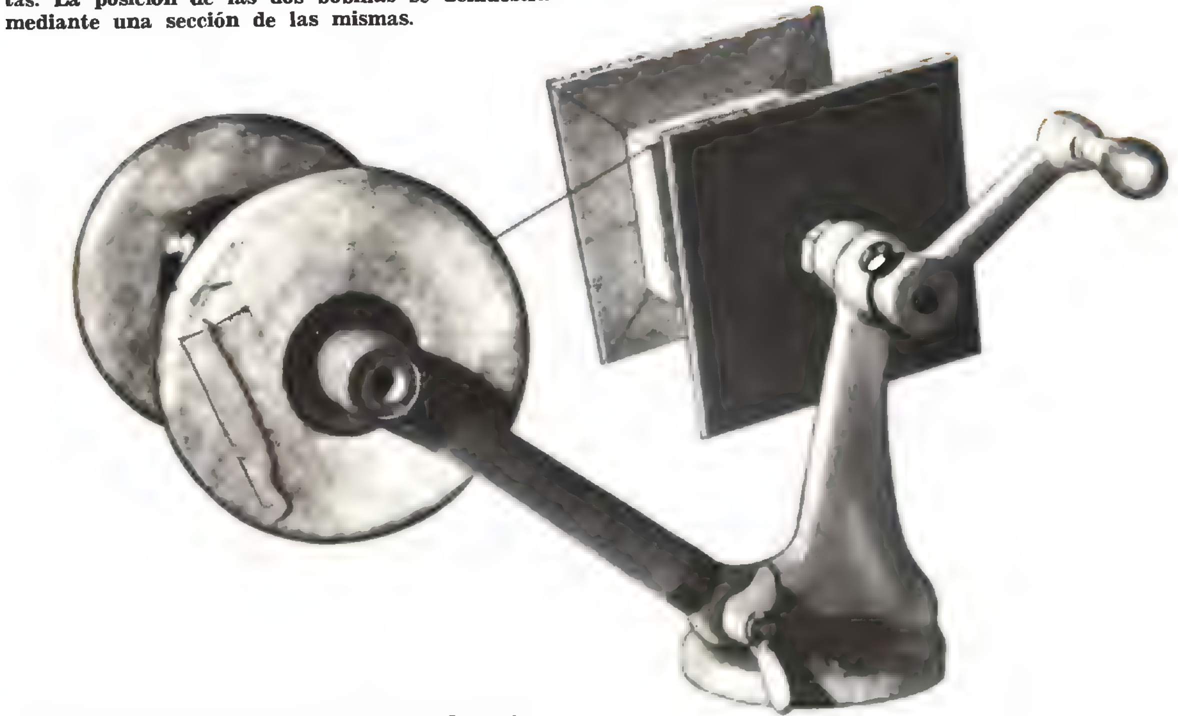
Ahora bien: ¿cómo formaremos este núcleo y qué dimensiones tendrá (ancho y alto) para que su sección sea realmente de 8 cm^2?

El núcleo estará formado por un empilado de chapa magnética y rodeando este núcleo estarán las bobinas del primario y del secundario, que se enrollan alrededor de un carrete de cartón especialmente construido. En este carrete se establece o no una separación entre la bobina del primario y la del secundario.





Carrete con separación entre el primario y el secundario y carrete con las dos bobinas superpuestas. La posición de las dos bobinas se demuestra mediante una sección de las mismas.



Operación del bobinado de las espiras del primario de un transformador.

La forma de las chapas responde a los distintos tipos de transformadores y sus dimensiones están normalizadas.

La forma de chapa más empleada en pequeños transformadores es la E/I, denominación derivada de su forma, que recuerda la de las dos vocales con que se denominan. Empilando chapas en E y chapas en I que alternan su posición se va formando el núcleo del transformador.

Las chapas E/I pueden cortarse también en forma de F (solución más actual), en cuyo caso desaparece la chapa I y el empilado se forma yuxtaponiendo chapas iguales en forma F.

Las chapas se denominan por un número que expresa su longitud máxima en milímetros; la que, junto con sus demás medidas, queda especificada en la norma DIN E 41-302, que se resume en la tabla de dimensiones que proporcionamos.

En nuestro ejemplo hemos dicho que la sección del núcleo sería de 8 cm^2. Si deseamos trabajar con una chapa E/I (o en F) 106 (vea la tabla), tendremos una anchura de núcleo de 2'9 cm.

Puesto que la superficie de la sección debe ser esta anchura multiplicada por la altura ($S = d \times h$), para que sea $S = 8 \ cm^2$, la altura deberá ser:

$$S = d \times h; \quad h = \frac{S}{d} = \frac{8}{2'9} \simeq 2'8 \ \text{cm}$$

Prácticamente tendremos un núcleo cuadrado.

Supongamos que disponemos de una chapa de grueso normal (4/10 de mm, por ejemplo). El número de chapas necesarias sería:

Altura del núcleo = 2'8 cm = 28 mm.

Grueso de una chapa = 0'4 mm.

Número de chapas = 28 : 0'4 = 70 chapas.

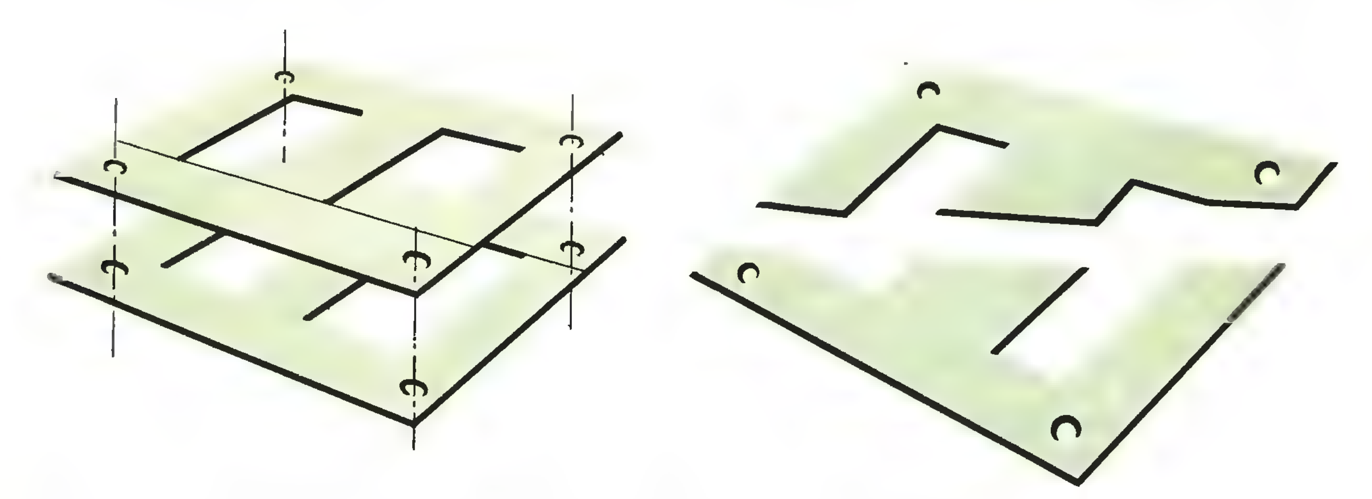
El núcleo estaría formado por 70 chapas E/I 106 de 4/10 de milímetro.



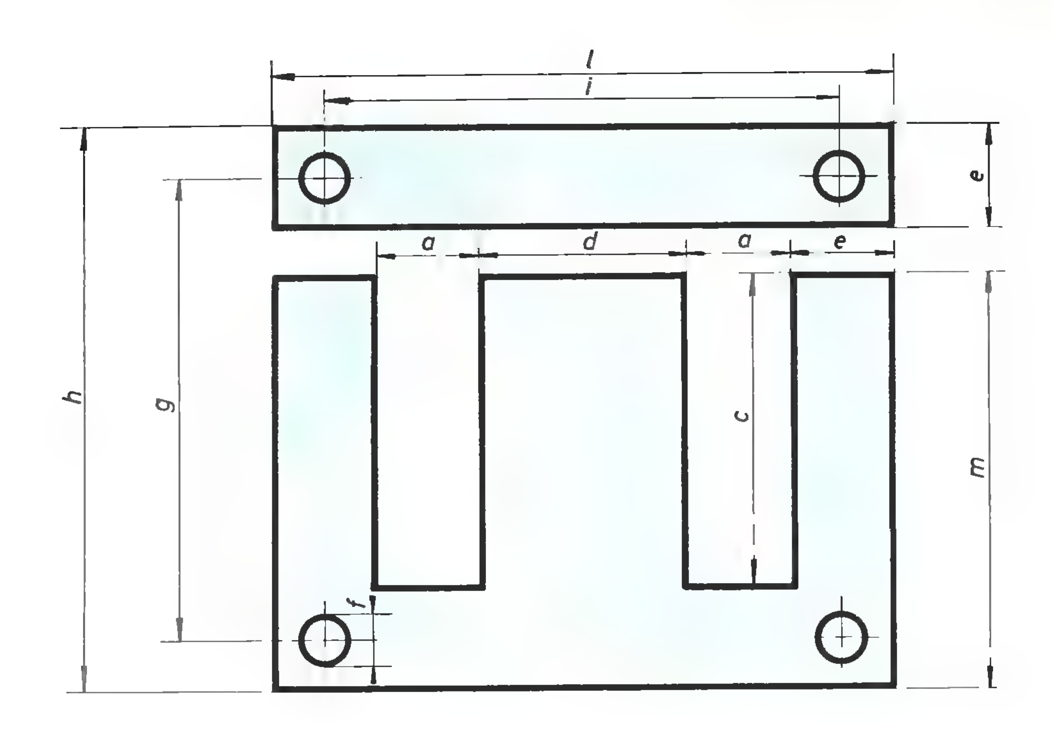
Para evitar la formación de corrientes parásitas o de Foucault, los núcleos magnéticos se construyen formando un empilado de chapas de forma apropiada.



Chapa en forma de F.



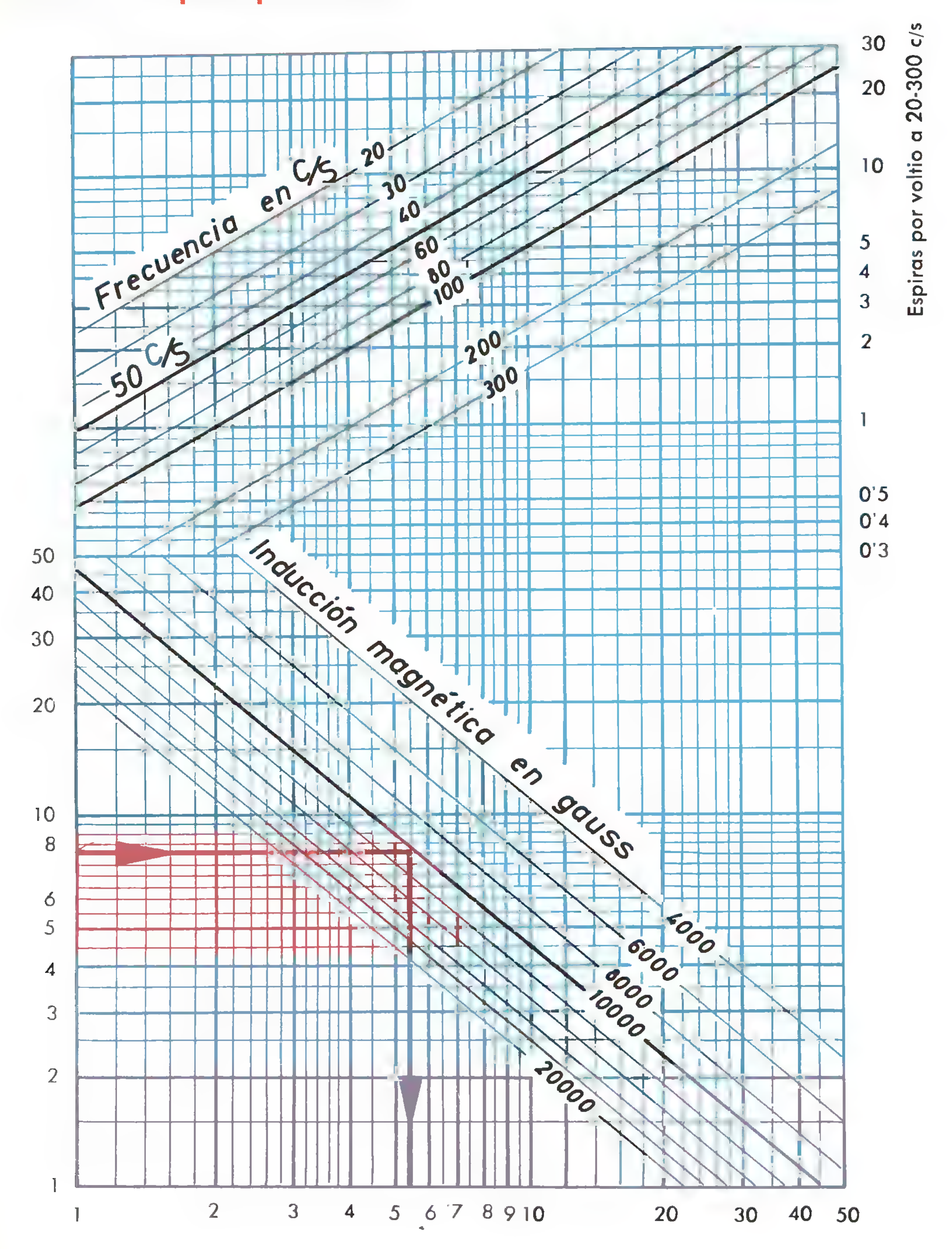
Esquemas demostrativos de la formación de los empilados con chapas E/I y con chapas F.



DIMENSIONES PARA CHAPAS NORMALIZADAS EN E/I DIN E 41-302

Chapa del núcleo		FORMAS E I													
		42	48	54	60	66	78	84	92	106	130	150	170	195	
Altura chapa impar	h	3'5	4'0	4'5	5'0	5'5	6'5	7'0	·7'4	8'5	10'5	12'0	14'0	18'0	cm
Longitud chapa	l	4'2	4'8	5'4	6'0	6'6	7'8	8'4	9'2	10'6	13'—	15'0	17'0	19'5	cm
Ancho culata	e	0'7	0'8	0'9	1'0	1'1	1'3	1'4	1'25	1'45	1'75	2'0	2'25	2'75	cm
Altura chapa par	m	2'8	3'2	3'6	4'0	4'4	5'2	5'6	6'15	7'05	8'75	10'0	11'75	15'25	cm
Altura ventana	c	2'1	2'4	2'7	3'0	3'3	3'9	4'2	4'9	5'6	7'0	8'0	9'5	12'5	cm
Ancho núcleo	d	1'4	1'6	1'8	2'0	2'2	2'6	2'8	2'5	2'9	3'5	4'0	4'5	5'5	cm
Ancho ventana	a	0'7	0'8	0'9	1'0	1'1	1'3	1'4	2'1	2'4	3'0	3'5	4'0	4,25	cm
	Øf	0'35	0'35	0'35	0'35	0'45	0'45	0'45	0'45	0'55	0'66	0'66	0'78	1'08	cm
Medidas de sujeción,	g	2'8	3'2	3'6	4'0	4'4	5'2	5'6	6'15	7'05	8'75	10	11'75	15'25	cm
	i	3'5	4'0	4'5	5'0	5'5	6'5	7'0	8'0	9'4	'1'5	13'5	15'0	17'0	cm

ABACO II. Espiras por voltio



ESPIRAS POR VOLTIO - ABACO II

Sabemos que la reducción o aumento de tensión que encontremos en el secundario depende de la relación entre el número de espiras que tengan las bobinas. El problema consiste en contestar este interrogante: ¿Cuántas espiras bobinaremos?

La solución se nos da en ESPIRAS POR VOLTIO, o sea, en el número de espiras que deberemos bobinar por cada voltio de tensión en el primario y por cada voltio medido entre los bornes del secundario. La cantidad de espiras por voltio está en función de la inducción magnética (en gauss por cm^2) y de la sección del núcleo.

Vea el ábaco II. En el eje vertical izquierdo tenemos las secciones en cm^2. En el eje vertical derecho (mitad superior), las espiras por voltio para frecuencias comprendidas entre 20 y 300 c/s. En el eje horizontal, las espiras por voltio según la inducción, cuando la frecuencia es de 50 c/s.

Sigamos con el ejemplo que nos ha servido hasta ahora: se trataba de conseguir 20 V y 3 A en el secundario (60 W), para lo cual el núcleo magnético debía ser de 8 cm^2.

Según el ábaco II y suponiendo que, como es normal, trabajamos con una corriente de 50 c/s, serán 5'5 las espiras por voltio que deberemos bobinar, supuesta una inducción de 10.000 gauss. Siempre que no se diga lo contrario, debe trabajar con inducciones comprendidas entre 10.000 y 11.0000 gauss por cm^2

Vea cómo, en efecto, la horizontal trazada desde el punto correspondiente a los 8 cm^2 de sección del núcleo, corta la inclinada de los 10.000 gauss en un punto que corresponde a la vertical de las 5'5 espiras por voltio.

Si se diese el caso de que la frecuencia no fuese de 50 c/s, operaríamos con la mitad superior del ábaco: desde el punto de intersección de los 10.000 gauss, trazaríamos una vertical hacia arriba que cortase la inclinada correspondiente a la frecuencia; y desde la nueva intersección, una horizontal hasta el eje vertical derecho.

Bien; en nuestro caso, necesitamos 5'5 espiras por voltio, lo que, en el secundario, representarán:

Espiras del secundario = 20 × 5'5 = 110 espiras.

Las espiras del primario dependerán de la tensión que le apliquemos. Si la red es de 125 V tendremos:

Espiras del primario = 125 × 5'5 = 687'5 espiras.

Como que interesan *números redondos* aumentaremos media espira. Será un primario de 688 espiras.

DIAMETRO DEL HILO - ABACO III

Sólo nos falta conocer el diámetro del hilo de las bobinas. Obtenemos este dato a partir de la intensidad en amperios que circulará por ellas y gracias al ábaco III de esta lección.

En este ábaco aparecen dos inclinadas paralelas que para cada valor de la intensidad nos dan dos diámetros distintos. Serán aceptables los valores comprendidos entre los dos extremos.

Así, en nuestro ejemplo, que prevé 3 A en el secundario, el diámetro del hilo estaría comprendido entre 0'7 mm y 1'5 mm. Un buen término medio sería hilo de 1 mm ∅.

¿Y el primario?

Puesto que el diámetro del hilo depende de la intensidad, deberemos empezar por conocer el amperaje que circulará por la bobina del primario.

Recuerde que debe existir igualdad entre las potencias.

Potencia en el primario = potencia en el secundario.

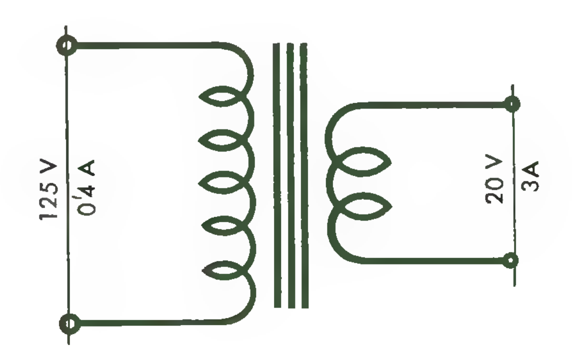
$$V_p \times I_p = V_s \times I_s$$

$$125 \times I = 20 \times 3$$

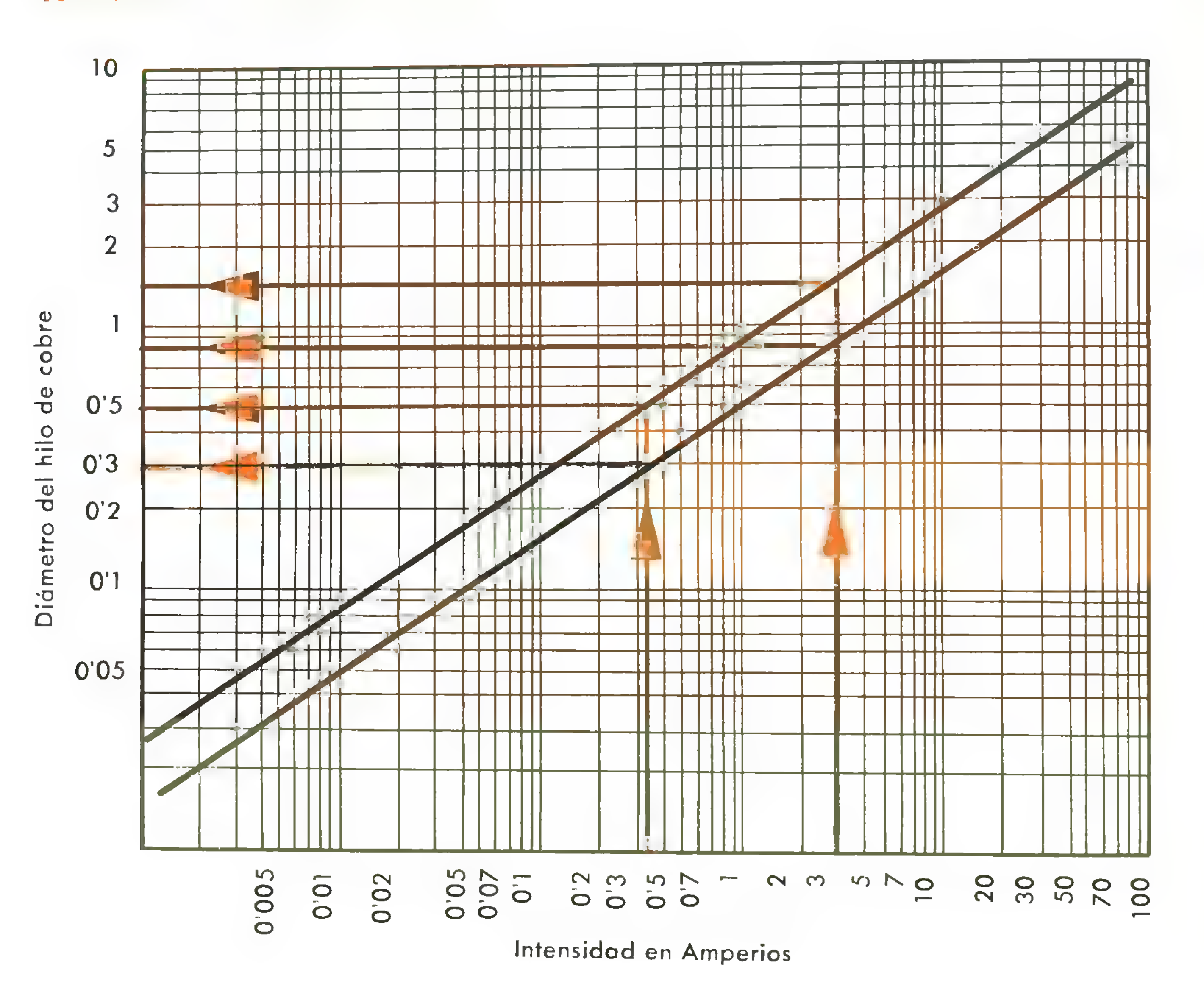
$$I = \frac{20 \times 3}{125} = \frac{60}{125} = 0'4 \text{ A}$$

De acuerdo con esta intensidad y con el ábaco III, el hilo del primario debe tener un diámetro comprendido entre 0'3 mm y 0'5 mm. Un término medio siempre es el mejor: usaremos hilo de 0'4 mm de diámetro.

Y con esto disponemos ya de todos los datos que nos permiten la construcción del transformador cuyo esquema representamos.



ABACO III - Diámetro del hilo



PRIMARIO: 688 espiras con hilo de 0'4 mm de diámetro.

SECUNDARIO: 110 espiras con hilo de 1 mm de diámetro.

NÚCLEO: chapa en F de 106 mm. Empilado de 70 chapas de 4/10 mm.

Por este sistema, el cálculo de un transformador de poca potencia es algo muy sencillo.

CONSTRUCCION DE UN TRANSFORMADOR

Características

TENSIÓN EN EL PRIMARIO: 125 V.

TENSIONES EN EL SECUNDARIO: 1, 2, 3, 4, 5, 6..., hasta 40 voltios, progresando de uno en uno.

POTENCIA: 30 vatios.

Este transformador no precisa soldaduras; es de fácil construcción y su reparación en caso de avería no ofrece dificultades, puesto que, pese a la gama de tensiones secundarias que puede obtenerse, el secundario está formado por sólo seis bobinados independientes.

Núcleo magnético

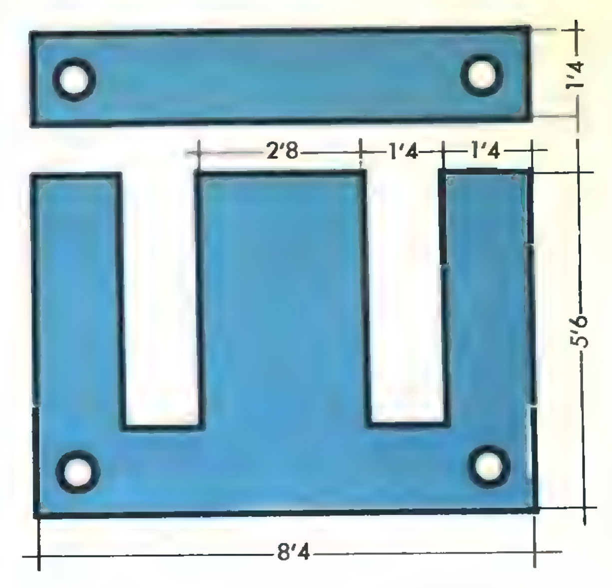
De acuerdo con la potencia prevista, necesitamos una sección de núcleo de 5'5 cm². Vea el ábaco I, por favor, y compruebe este valor.

Si ahora consultamos la tabla de chapas DIN, veremos que un tamaño adecuado es el de 84 mm de longitud. El núcleo tiene una anchura d = = 2'8 cm = 28 mm. De ahí deducimos que la altura del núcleo debe ser:

$$\text{Altura núcleo} = \frac{5'5}{2'8} = 1'9 \simeq 2 \text{ cm}$$

Adoptando chapa de 0'4 mm de grueso, precisaremos:

$$\text{N.º de chapas de } 4/10 = \frac{20}{0'4} = 50 \text{ chapas}$$



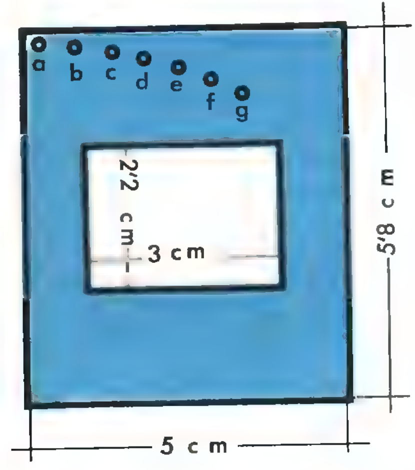
Chapa DIN de l = 84 mm. Con 50 chapas de 0'4 mm de grueso formaremos el empilado del núcleo.

El carrete para las bobinas

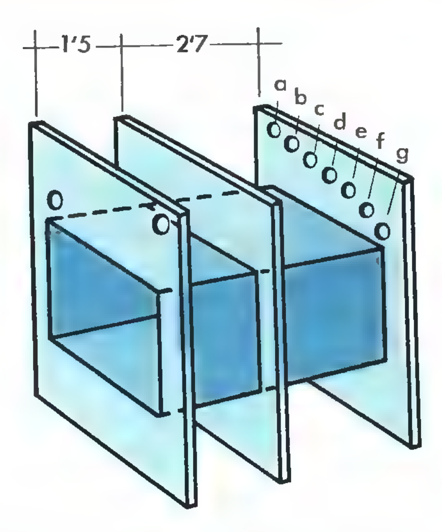
El primario y el secundario pueden bobinarse superpuestos, solución adoptada por casi todos los fabricantes de pequeños transformadores. Pero también pueden bobinarse uno al lado del otro, solución que nosotros adoptaremos por considerar que acarrea menos problemas de orden práctico.

De tal solución resulta que nuestro carrete deberá tener una separación intermedia para formar dos divisiones; la del primario y la del secundario.

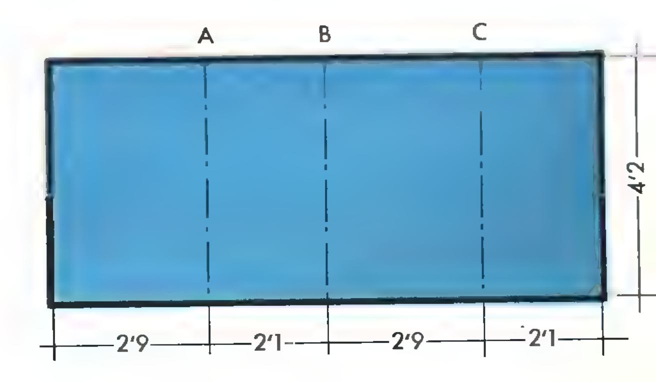
Las medidas del carrete, como es lógico, vienen determinadas por las dimensiones del núcleo. Y puesto que en nuestro transformador hemos previsto un núcleo de 2'8 × 2 cm, el carrete deberá construirse siguiendo las plantillas que proporcionamos.



En cartón de 1 mm de grueso corte tres piezas como ésta. En una de ellas practique los taladros a, b, c, d, e y f.



Con las cuatro piezas cortadas monte el carrete según expresa este dibujo, dejando mayor espacio para el secundario. Mantenga aproximadamente la separación que le indicamos.



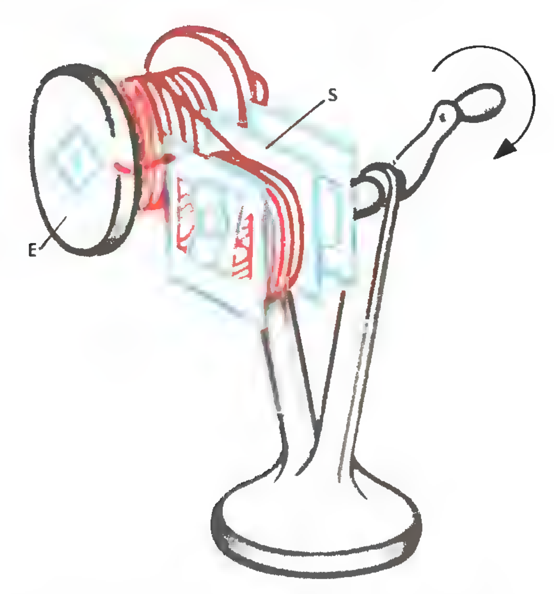
Corte un rectángulo de cartón (0'5 mm de grueso) cuyas dimensiones sean 10 × 4'2 cm. Señale los dobleces A, B y C.

Las bobinas

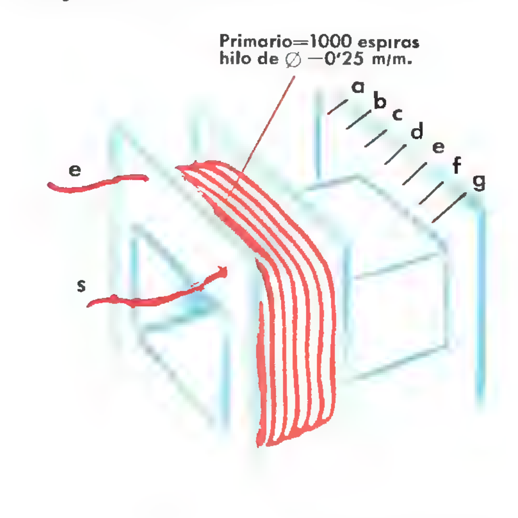
El primario estará formado por una bobina de 1.000 espiras de hilo de 0'25 mm de diámetro (unos 60 gr aproximadamente).

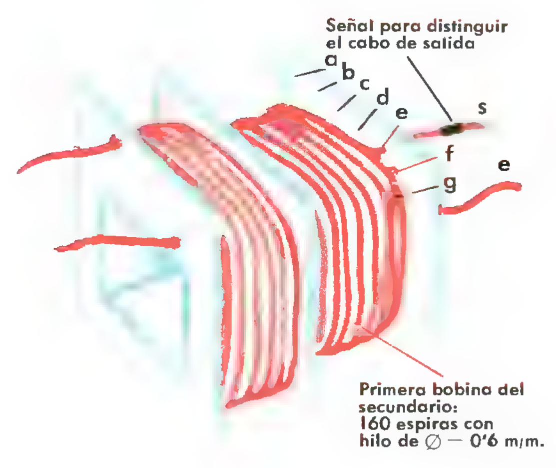
Practique en el carrete un agujero de entrada para el primario y, haciendo pasar por él el cabo del hilo, proceda a bobinar las mil espiras, siempre en el mismo sentido y procurando que entre ellas no queden separaciones innecesarias, que si bien no influirían en el funcionamiento del transformador harían necesario mayor espacio para ubicar el hilo.

Para el secundario utilizaremos hilo de 0'5 a 0'7 mm de diámetro. Digamos, para concretar, que trabajaremos con hilo de 6/10 de mm.



Forma de obtener los bobinados con una sencilla máquina de manubrio.





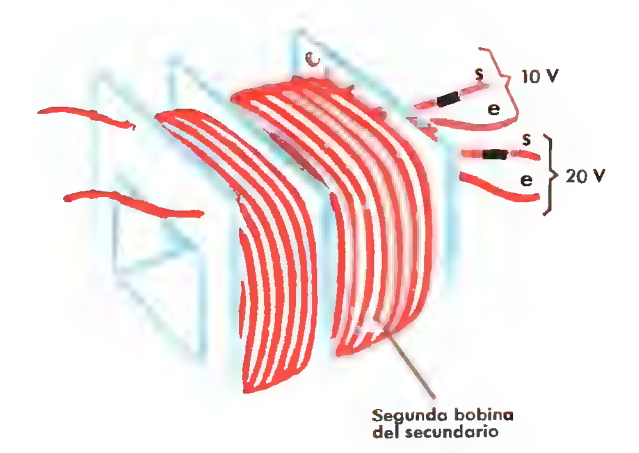
Primera bobina del secundario

Entre sus bornes mediremos una tensión de 20 V. Para ello haremos salir el cabo de entrada del hilo por el agujero *f* del carrete y bobinaremos 160 espiras, en un mismo sentido y con un cuidado especial para que queden muy juntas y sin superponerse de forma irregular; debe formar pisos perfectos. Cuando alcance las 160 espiras, corte el hilo y hágalo pasar por el taladro *e*. Haga una señal a este cabo de salida; interesa identificarlo con facilidad. Puede ser una mancha, un trozo de cinta aislante, un doblez del hilo, etc.

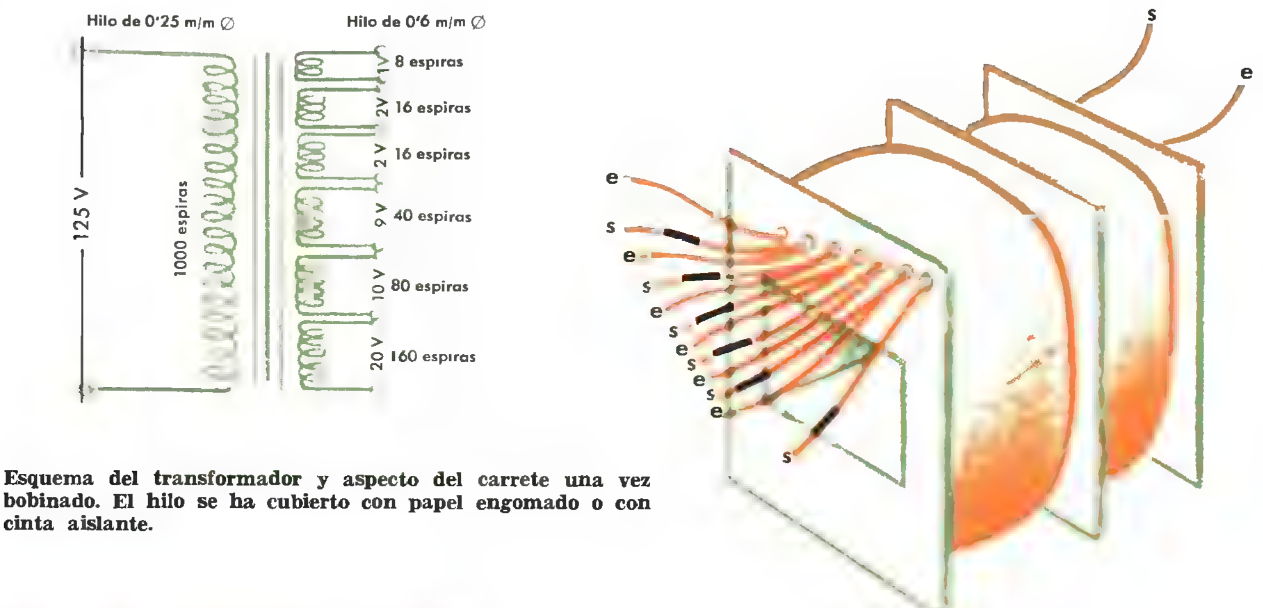
Segunda bobina

La tensión entre sus bornes será de 10 V. Estará formada por 80 espiras. Pasará el cabo de entrada por el mismo agujero *e*, bobinará las 80 espiras (en el mismo sentido que el bobinado anterior), y hará salir el final por el taladro *d*. No olvide que debe marcar este nuevo cabo de salida.

IMPORTANTE. Entre cada dos capas de espiras conviene intercalar una hoja de papel aceitado para evitar posibles cortocircuitos.



Falta completar el secundario con una bobina de 40 espiras (5 voltios de tensión entre bornes), dos de 16 espiras (2 voltios entre bornes) y una de 8 espiras (1 voltio entre bornes). La mecánica a seguir es siempre la misma; la entrada de una bobina pasa por el mismo taladro que la salida anterior. Todo eso queda indicado en la representación esquemática del transformador.



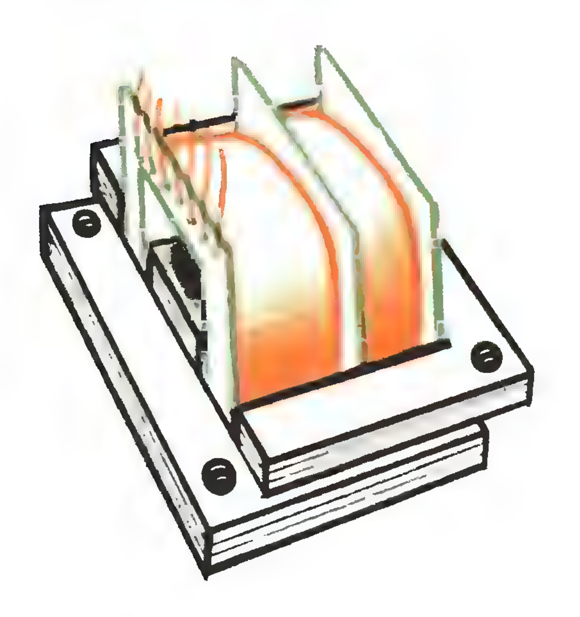
Esquema del transformador y aspecto del carrete una vez bobinado. El hilo se ha cubierto con papel engomado o con cinta aislante.

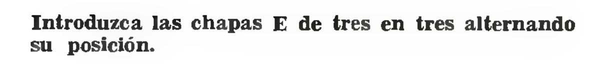
INTRODUCCION DEL NUCLEO

Empecemos por una advertencia: *no se corte con la chapa.* ¡Cuidado con sus manos!

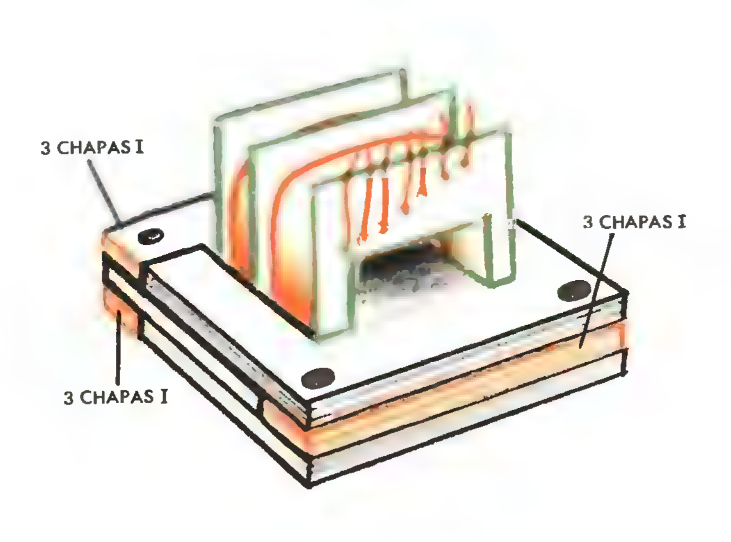
La chapa magnética siempre lleva una capa de herrumbre nada recomendable para las heridas. Si es posible póngase unos guantes viejos, con lo que evitará ciertos riesgos.

Se trata de introducir la chapa magnética en el interior del carrete. Para ello, introduzca de tres en tres las chapas en E, alternando su posición. Llene con chapas en I los espacios vacíos que tendrá en ambos lados del carrete; tres en cada espacio, como se comprende.

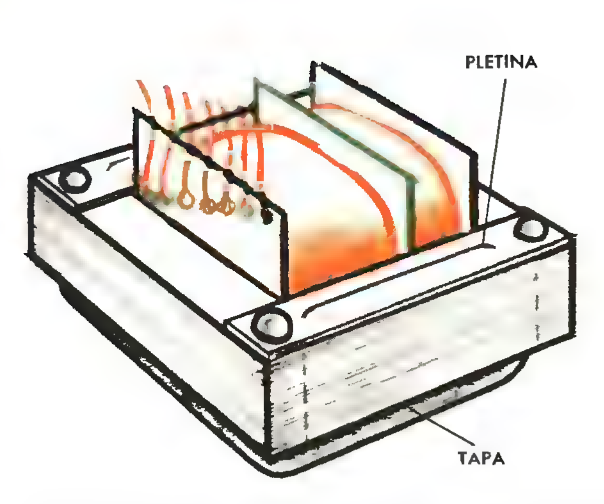


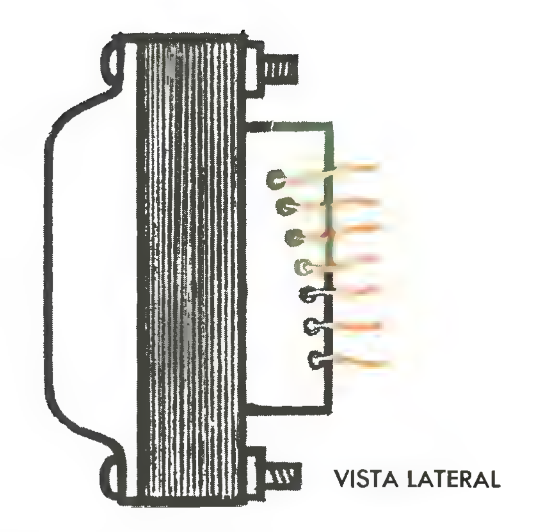


Introduzca las chapas E de tres en tres alternando su posición.



Los espacios entre chapas E deben rellenarse con chapas I.



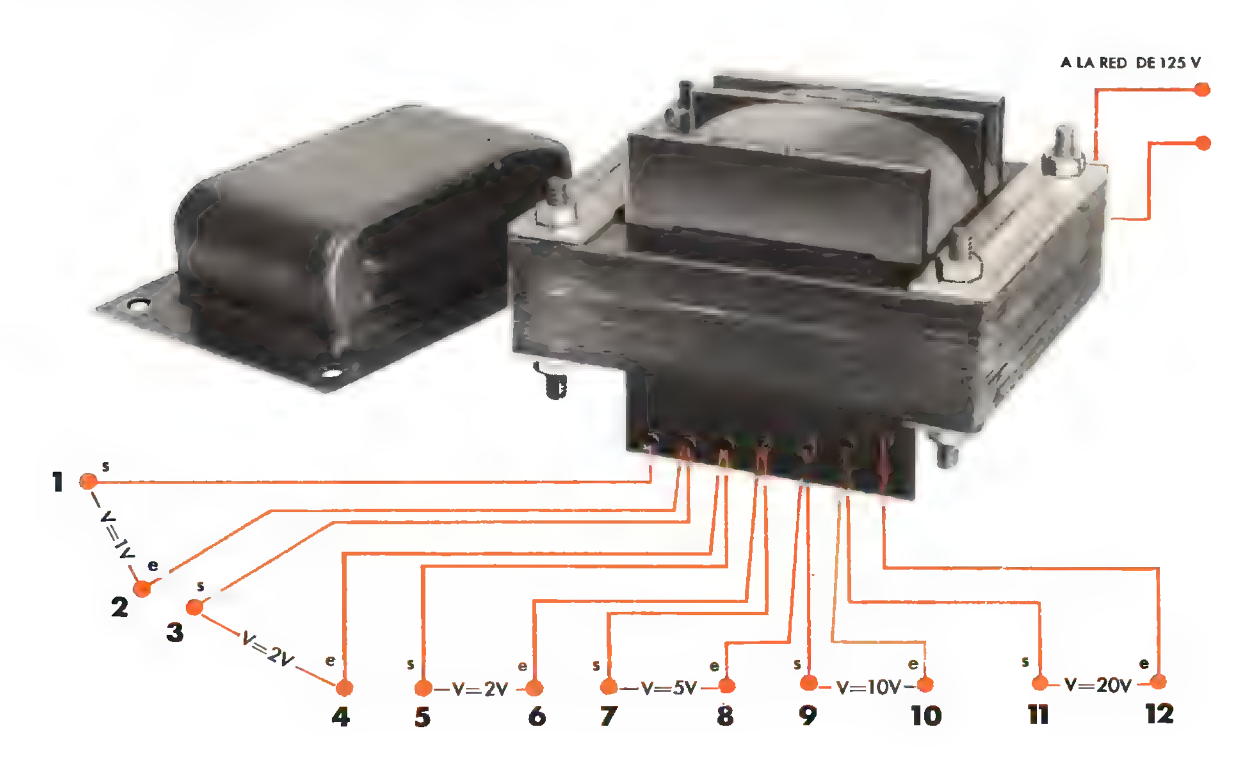


Una vez introducidas las chapas se fijan fuertemente con espárragos roscados que se introducen por los taladros. Estos mismos espárragos sujetan la tapa del transformador (si se desea ponerla) y un par de pletinas que evitan vibraciones de las chapas más exteriores.

Observe ahora cómo le quedan distribuidas las tensiones a las salidas del secundario, donde tiene siete puntos que pueden conectarse a un sistema de toma de corriente; una hembrilla.

Hemos dicho al principio que con este transformador podíamos obtener en el secundario tensiones correlativas desde 1 V a 40 V. Veamos en qué condiciones obtendremos cada una de estas tensiones. Para conseguir toda la gama de tensiones es preciso unir con un *puente* conductor dos o más bornes, según lo indicado por la tabla que cierra esta lección.

En cada uno de los extremos de las bobinas del secundario tendremos un borne; que para mayor comodidad podemos hacer que sea una hembrilla.



Tensión deseada	Establecer la toma entre	Con puente entre
1 V	Bornes 1 y 2	Sin puente
2 V	Bornes 3 y 4	Sin puente
3 V	Bornes 1 y 4	Puente entre 2 y 3
4 V	Bornes 3 y 6	Puente entre 4 y 5
5 V	Bornes 7 y 8	Sin puente
6 V	Bornes 1 y 8	Puente entre 2 y 7
7 V	Bornes 5 y 8	Puente entre 6 y 7
8 V	Bornes 1 y 8	Puente entre 2-3 y 4-7
9 V	Bornes 3 y 8	Puente entre 4-5 y 6-7
10 V	Bornes 9 y 10	Sin puente
11 V	Bornes 1 y 10	Puente entre 2 y 9
12 V	Bornes 5 y 10	Puente entre 6 y 9
13 V	Bornes 1 y 10	Puente entre 2-3 y 4-9
14 V	Bornes 3 y 10	Puente entre 4-5 y 6-9
15 V	Bornes 7 y 10	Puente entre 8 y 9
16 V	Bornes 1 y 10	Puente entre 2-7 y 8-9
17 V	Bornes 5 y 10	Puente entre 6-7 y 8-9
18 V	Bornes 1 y 10	Puente entre 2-3, 4-7 y 8-9
19 V	Bornes 3 y 10	Puente entre 4-5, 6-7 y 8-9
20 V	Bornes 11 y 12	Sin puente
21 V	Bornes 1 y 12	Puente entre 2 y 11
22 V	Bornes 3 y 12	Puente entre 4 y 11
23 V	Bornes 1 y 12	Puente entre 2-3 y 4-11
24 V	Bornes 3 y 12	Puente entre 4-5 y 6-11
25 V	Bornes 7 y 12	Puente entre 8 y 11
26 V	Bornes 1 y 12	Puente entre 2-7 y 8-11
27 V	Bornes 5 y 12	Puente entre 6-7 y 8-11
28 V	Bornes 1 y 12	Puente entre 2-3, 4-7 y 8-11
29 V	Bornes 3 y 12	Puente entre 4-5, 6-7 y 8-11
30 V	Bornes 9 y 12	Puente entre 10 y 11
31 V	Bornes 1 y 12	Puente entre 2-9 y 10-11
32 V	Bornes 5 y 12	Puente entre 6-9 y 10-11
33 V	Bornes 1 y 12	Puente entre 2-3, 4-9 y 10-11
34 V	Bornes 3 y 12	Puente entre 4-5, 6-9 y 10-11
35 V	Bornes 7 y 12	Puente entre 8-9 y 10-11
36 V	Bornes 1 y 12	Puente entre 2-7, 8-9 y 10-11
37 V	Bornes 5 y 12	Puente entre 6-7, 8-9 y 10-11
38 V	Bornes 1 y 12	Puente entre 2-3, 4-7, 8-9 y 10-11
39 V	Bornes 3 y 12	Puente entre 4-5, 6-7, 8-9 y 10-11
40 V	Bornes 1 y 12	Puente entre 2-3, 4-5, 6-7, 8-9 y 10-11

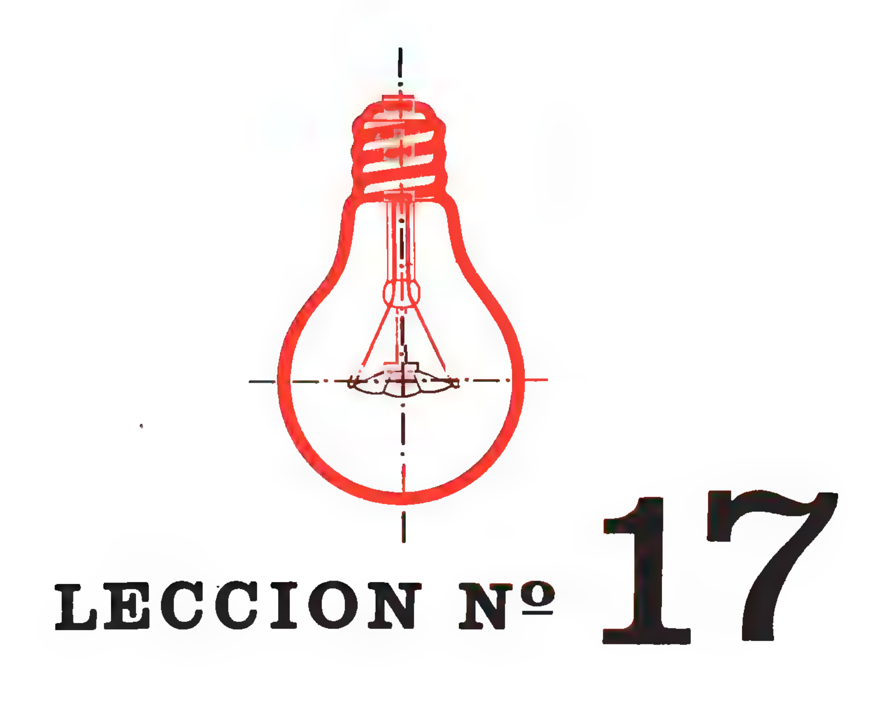
ELECTRICIDAD

Generadores de c.c.

La dínamo; elementos básicos

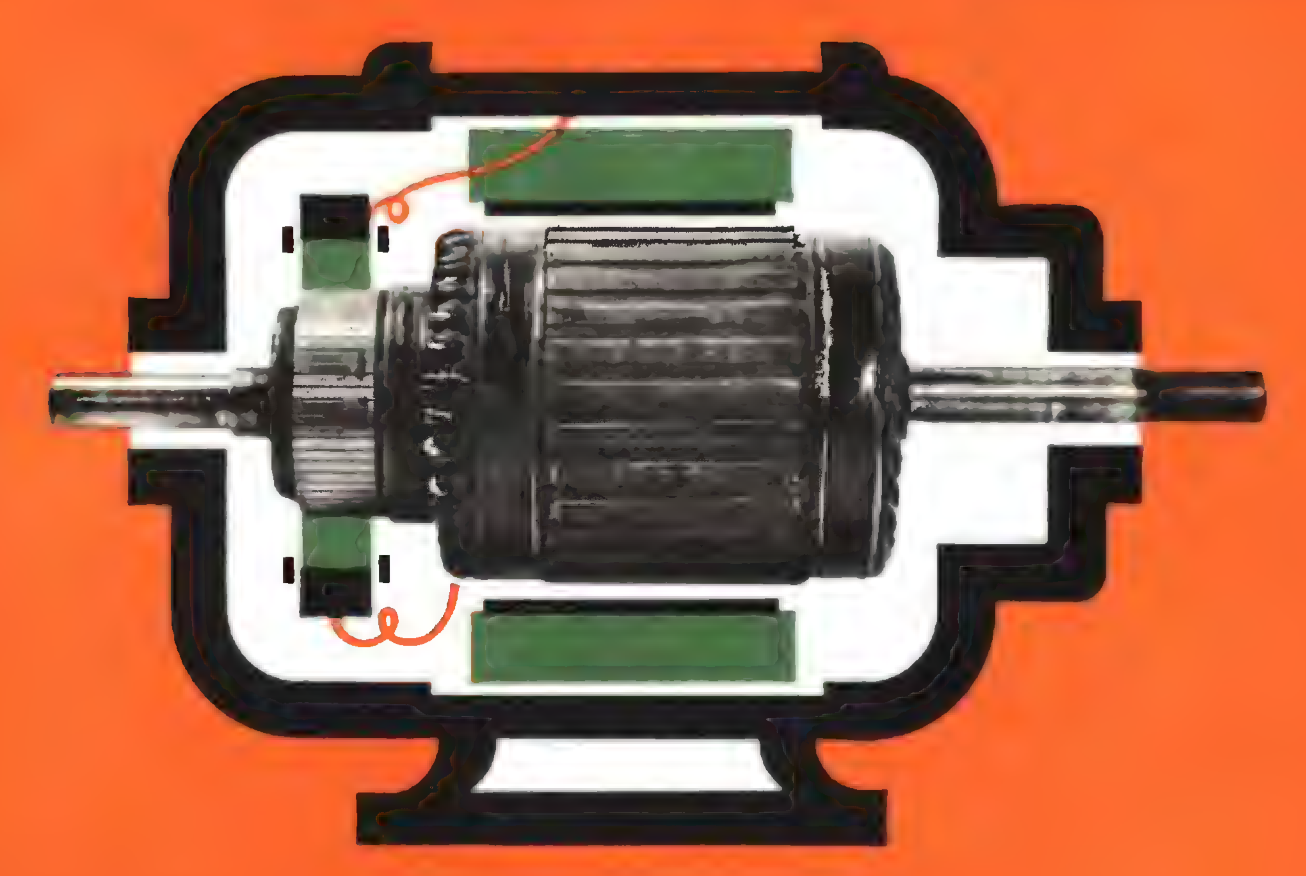
Conexionado de dínamos

Los devanados



LECCION Nº 17

MAQUINAS ELECTRICAS (I) - GENERADORES DE CORRIENTE CONTINUA - PRINCIPIOS TEORICOS



LAS IDEAS FUNDAMENTALES

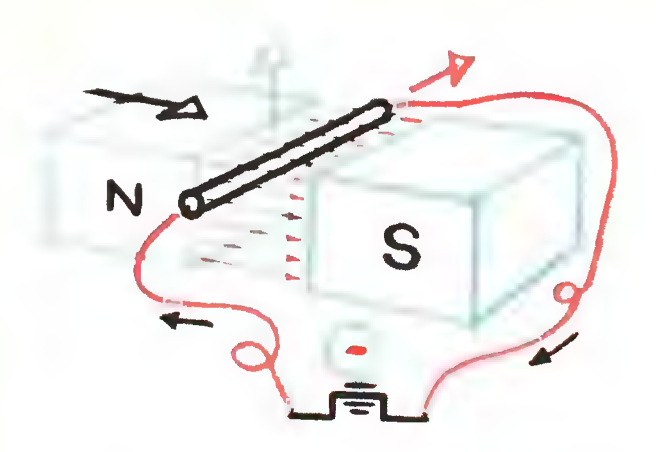
En este capítulo empezamos el estudio de uno de los temas más apasionantes de cuantos nos ofrece el amplio temario abarcado por esta ciencia sorprendente que llamamos electrotecnia. En estas páginas vamos a sentar los principios de lo que, debidamente aprovechado, llena de luz nuestras noches, mueve nuestros ferrocarriles, llena de comodidad nuestro hogar y aumenta la eficacia de nuestros hospitales.

Conviene que nuestros primeros pasos en esta ruta desconocida que vamos a emprender tengan la firmeza de los pasos del alpinista que, dispuesto a conquistar lo ignoto, ha sabido pertrecharse con un buen equipo. Nuestro equipo deben ser las ideas fundamentales sobre generadores de corriente que dimos al estudiar las pilas y los fenómenos electromagnéticos. Son cuestiones que, pese a su caracter elemental, merecen figurar al principio de todo tratado sobre máquinas eléctricas.

Dejando aparte los generadores químicos (pilas y acumuladores), cuyo uso queda restringido a los casos en que se requieren corrientes debiles, potenciales reducidos (unos pocos voltios) y suministros poco prolongados (los generadores químicos se agotan con demasiada rapidez), debemos buscar en los fenómenos de la autoinducción el principio fundamental para la obtención de corrientes eléctricas a escala industrial.

Éste es el principio:

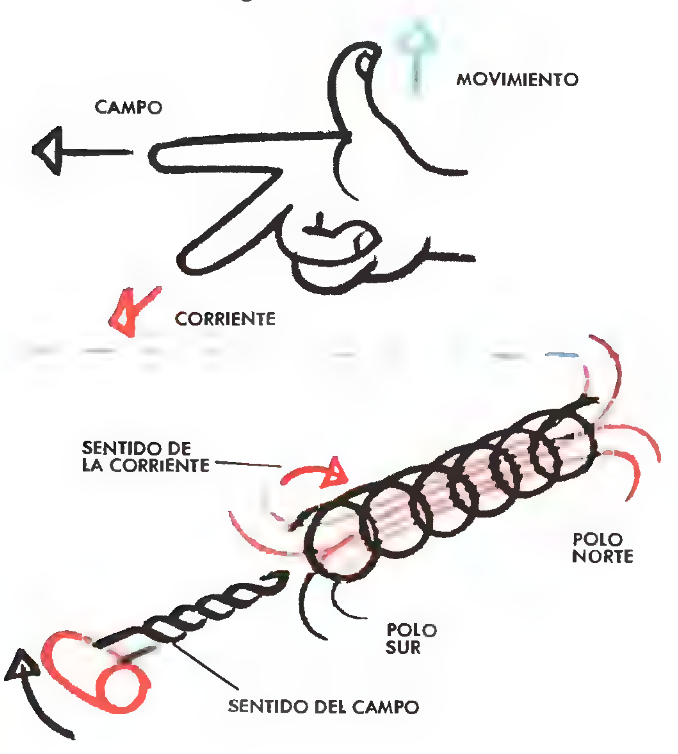
CUANDO UN CONDUCTOR (O UNA ESPIRA) ATRAVIESA UN CAMPO MAGNÉTICO A CIERTA VELOCIDAD, NACE EN ÉL UNA F.E.M. INDUCIDA; UNA CORRIENTE ELÉCTRICA, EN DEFINITIVA.



Cuando un conductor atraviesa un campo magnético nace en él una f.e.m. inducida.



Regla de la mano derecha.



Regla del sacacorchos.

Esta corriente inducida sigue su marcha en un *sentido* que depende del sentido del campo magnético que atraviesa el conductor en que se induce la corriente y del sentido del movimiento de dicho conductor.

Los tres sentidos a considerar quedan relacionados por la regla de la mano derecha:

SUPONIENDO QUE NUESTRA MANO DERECHA SE EXTIENDA PERPENDICULAR AL CAMPO MAGNÉTICO DE FORMA QUE LAS LÍNEAS DE FUERZA DEL CAMPO PENETREN POR LA PALMA DE LA MANO, CUANDO EL DEDO PULGAR SEÑALE EL SENTIDO DEL MOVIMIENTO DEL CONDUCTOR, LA CORRIENTE INDUCIDA CORRERÁ EN EL SENTIDO QUE SEÑALAN LOS DEMÁS DEDOS DE LA MANO.

Y también:

COLOCANDO LOS DEDOS ÍNDICE, PULGAR Y MEDIO DE LA MANO DERECHA PERPENDICULARES ENTRE SÍ, CUANDO EL PULGAR SEÑALE EL SENTIDO DEL MOVIMIENTO Y EL ÍNDICE EL DEL FLUJO MAGNÉTICO, EL DEDO MEDIO INDICARÁ EL SENTIDO DE LA CORRIENTE INDUCIDA.

La corriente inducida en el conductor o espira tiene un valor determinado, que depende del que alcance la fuerza electromotriz inducida. Este valor viene dado por la fórmula:

$$E = \frac{B \times l \times v}{100.000.000} \text{ voltios}$$

en la cual es B = inducción en gauss, l = longitud del conductor en cm y v = velocidad del conductor en cm/seg. (Véase la lección 10 de ELECTRICIDAD TEÓRICO-PRÁCTICA.)

Otra fórmula básica es la que nos da el esfuerzo en Kg necesario para mover el conductor o espira. La fórmula es:

$$P = \frac{W \times 100}{v \times 9'81}$$

En esta fórmula es W = potencia en vatios de la corriente inducida, v = velocidad del conductor en cm/seg, 9'81 = aceleración de la gravedad y 100 = múltiplo necesario para obtener el resultado en Kg.

Sigamos rememorando los conocimientos elementales que, según hemos dicho, deben ser nuestro equipo en esta excursión por el dominio de las máquinas eléctricas.

He ahí otro dato de importancia: saber identificar la polaridad de un solenoide. Para ello existe la ley del sacacorchos (ver lección 7), que dice:

EL SENTIDO DEL CAMPO MAGNÉTICO DE UN SOLENOIDE CORRESPONDE AL DEL AVANCE DE UN SACACORCHOS CUANDO ÉSTE GIRA EN EL MISMO SENTIDO QUE LA CORRIENTE.

GENERADORES DE C.C.

LA DINAMO

DE LA ESPIRA EN MOVIMIENTO A LA DINAMO

Iniciamos el estudio de los generadores de corriente continua que actúan por procedimientos electromagnéticos que aprovechan los fenómenos de la inducción.

Partiendo de algo tan elemental como es una sola espira conductora en movimiento debemos llegar al diseño de una auténtica dínamo, que así suelen denominarse los generadores de c.c.

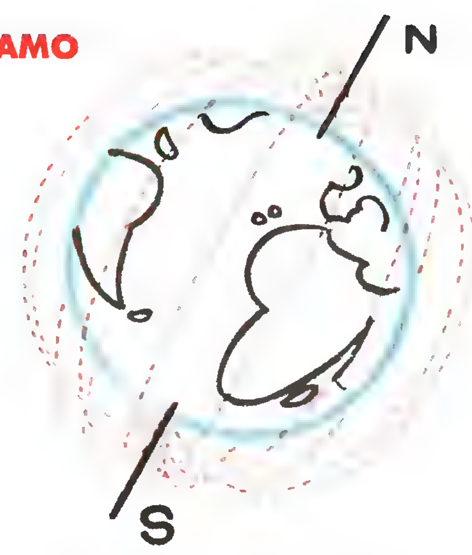
Adelante:

Usted sabe que la Tierra, nuestro planeta, es un enorme imán cuyos polos coinciden prácticamente con los polos Norte y Sur geográficos. Las líneas de fuerza del imán Tierra rodean la superficie de nuestro mundo, lo cual quiere decir que todo lo que existe sobre la Tierra queda bajo la influencia de su campo magnético.

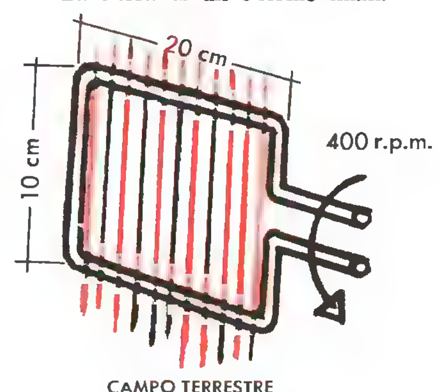
Resulta que, sin necesidad de preocuparnos por obtenerlo, disponemos constantemente de un campo magnético cuyo comportamiento no es distinto del que puede esperarse de otro imán cualquiera.

Esto quiere decir que una simple espira de hilo conductor, que se mueva y corte con su movimiento las líneas de fuerza del campo magnético terrestre, es ya un elementalísimo generador de corriente eléctrica.

Con una espira de 20 × 10 cm girando a una velocidad de 400 r.p.m. obtendríamos una f.e.m. inducida, cuyo valor sería aproximadamente igual a 1 mV, o sea, 0'001 voltios.



La tierra es un enorme imán.



Esta espira nos proporcionaría una f.e.m. de 1 mV.

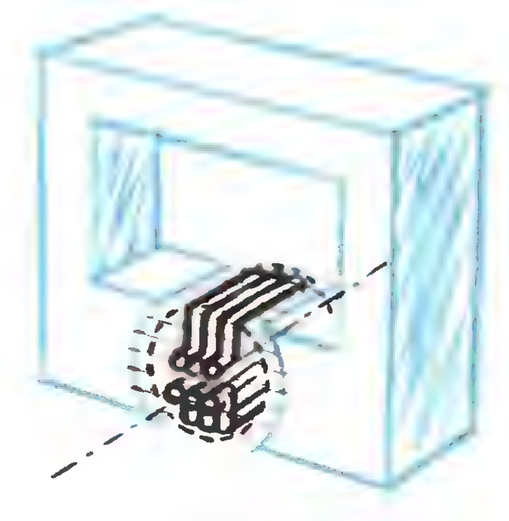
INDUCTOR E INDUCIDO

El débil campo magnético terrestre no da para más. Pero es evidente que podemos servirnos del campo magnético creado por un potente imán permanente para aumentar el valor de la f.e.m. inducida.

La espira, pues, girará dentro del campo de un imán; y si en vez de tratarse de una sola espira son varias, tanto mejor; mayor será la f.e.m. en ellas inducida.

Es lógico que puestos a trabajar con un imán busquemos para él la forma más conveniente, dando a sus superficies polares la concavidad correspondiente a la parte de superficie de revolución barrida por la espira en su girar.

Este imán será el encargado de inducir la f.e.m. en las espiras en movimiento. Es lógico, pues, que llamemos INDUCTOR al imán descrito.



Imán inductor.



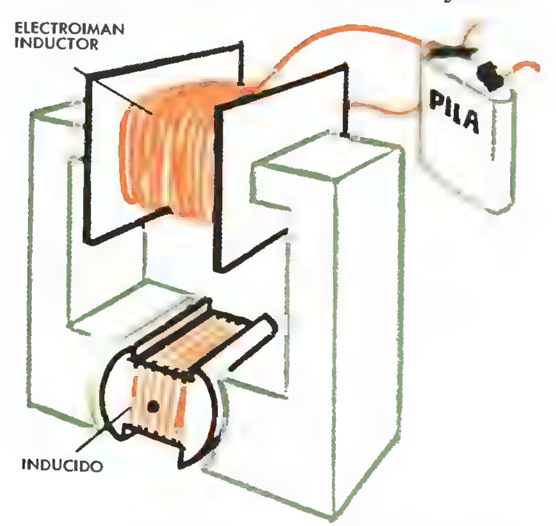
El aire dispersa las líneas de fuerza de los extremos del campo.



Rellenando el campo de giro con un tambor de hierro se canalizan todas las líneas de fuerza.

La forma dada a las dos superficies polares ayuda a que las líneas de fuerza se canalicen dentro de lo que es el campo de giro de las espiras. Pero se trata de una ayuda, no de una solución total, ya que el aire opone cierta resistencia al paso del flujo magnético y algunas de sus líneas de fuerza se cierran fuera del campo de giro de las espiras.

Se trata de un inconveniente, puesto que el valor de la f.e.m. inducida será tanto mayor cuantas más líneas de fuerza sean cortadas por las espiras móviles.



Representación simplificada de una dínamo con electroimán inductor.

Para conseguir una canalización total de las líneas de fuerza se recurre a la solución siguiente: las espiras móviles se enrollan sobre un tambor de hierro, que al ser mucho más permeable que el aire recoge la totalidad del flujo que corre de una a otra superficie polar. El conjunto formado por este tambor metálico y las espiras en él devanadas recibe el nombre de INDUCIDO.

Una dínamo no es más que eso: un inductor y un inducido que giran dentro del campo magnético creado por el primero, añadiendo los elementos precisos para recoger la corriente inducida que aparece en el segundo.

En nuestros días todavía podemos ver dínamos de este tipo, cuyo inductor es un imán permanente: en automóviles, en antiguos teléfonos, en aparatos de medida, etc.

Si hacemos mayor el número de espiras del inducido, aumentamos también la f.e.m. inducida en él; pero se comprende que el número de espiras tiene un límite. Entonces, para obtener mayores corrientes debemos aumentar el valor del campo magnético creado por el inductor.

Recurrimos entonces al electroimán, el que, como veremos luego, puede excitarse con una pila o acumulador o bien con la misma corriente que produce la dínamo.

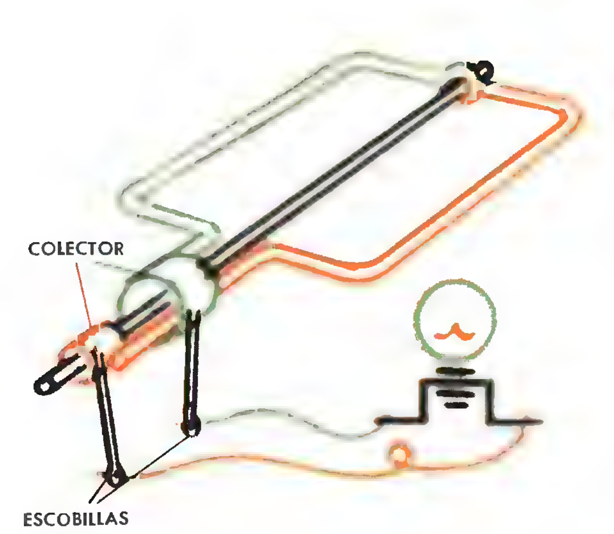


EL COLECTOR

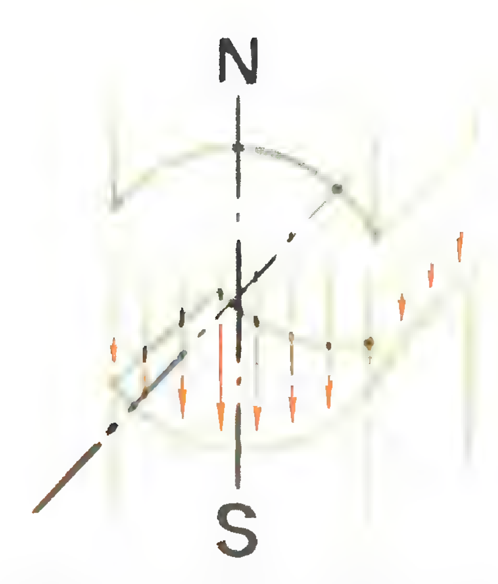
De la dínamo básica (valga la denominación) nos queda por ver un tercer elemento fundamental: EL COLECTOR; la parte de la dínamo destinada a recoger la corriente que aparece en el inducido y a través de la cual podremos llevarla al circuito exterior de la dínamo.

Cómo debe ser el colector de una dínamo es algo que debemos deducir a través de una breve exposición teórica.

Comentaremos una serie de imágenes similares a las que se utilizan para definir la corriente alterna.



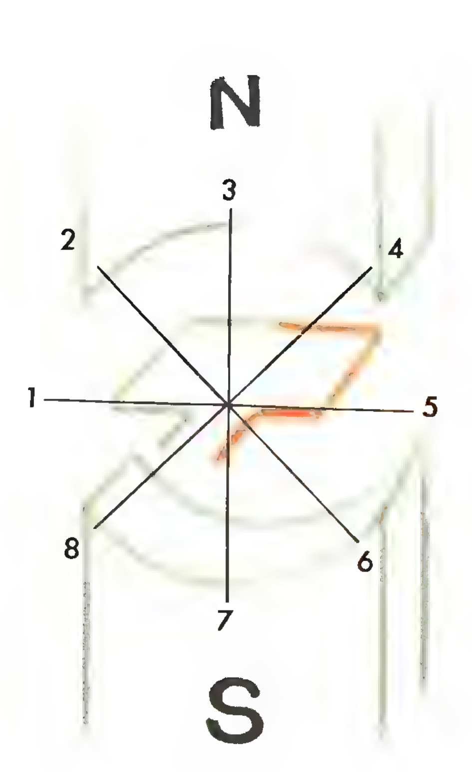
Este es el inducido que necesitamos para nuestra experiencia. Dibujamos cada mitad de la espira en distinto color para facilitar la comprensión del fenómeno.



El inducido propuesto girará dentro de un campo magnético dirigido verticalmente de arriba hacia abajo.

Se trata de preparar un inducido rudimentario (una sola espira) de modo que pueda girar inmersa en el campo magnético creado por un imán, campo que supondremos dirigido de arriba abajo; el norte del imán queda arriba. Cada uno de los extremos del inducido queda unido a un anillo colector, donde se recoge la corriente inducida en la bobina que llevaremos a una bombilla a través de dos escobillas.

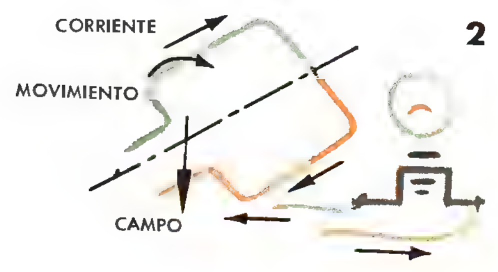
Consideraremos ocho posiciones del inducido, empezando por la posición del dibujo y girando en el sentido de las agujas del reloj.





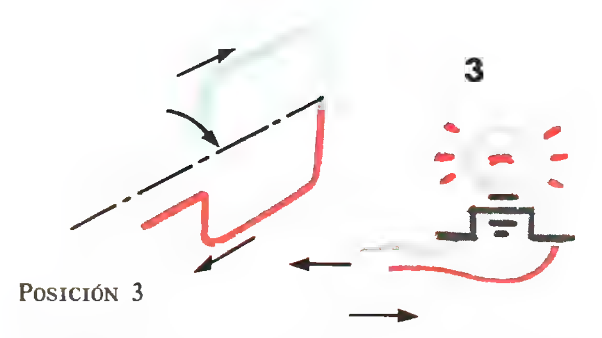
Posición 1

No hay corriente; los lados de la espira no cortan ninguna línea de campo.



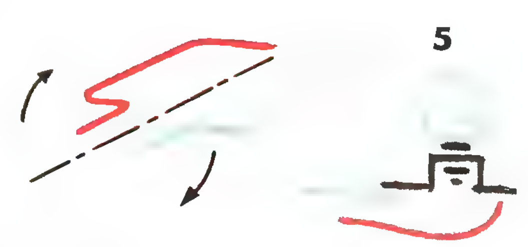
Posición 2

Empieza a circular una débil corriente. Por la regla de la mano derecha podemos deducir su sentido.



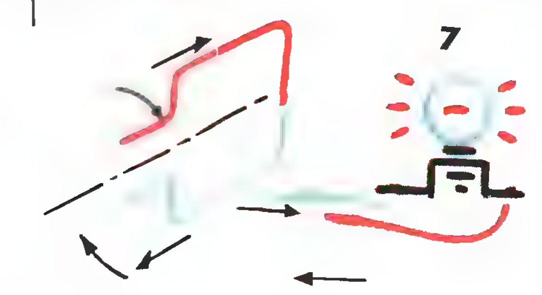
Posición 3

La corriente es máxima y corre en el mismo sentido.



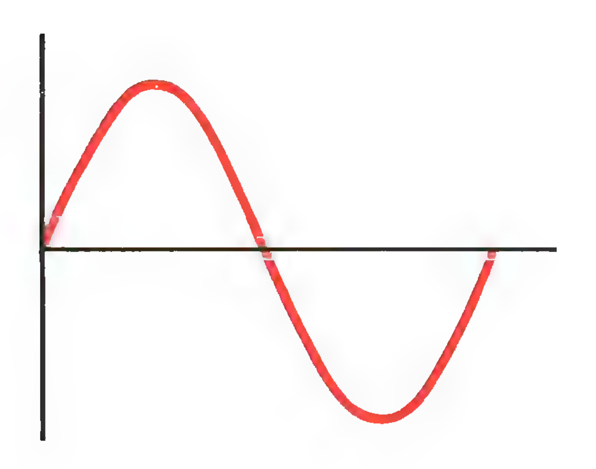
Posición 5

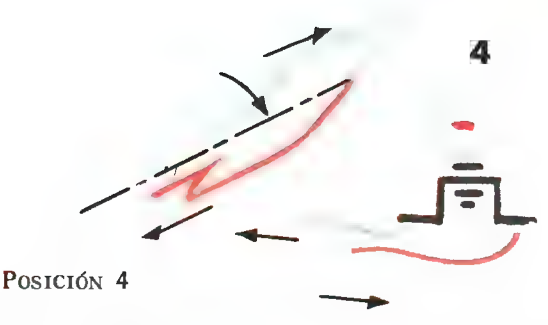
Alcanzamos otro momento de corriente cero. No circula corriente.



Posición 7

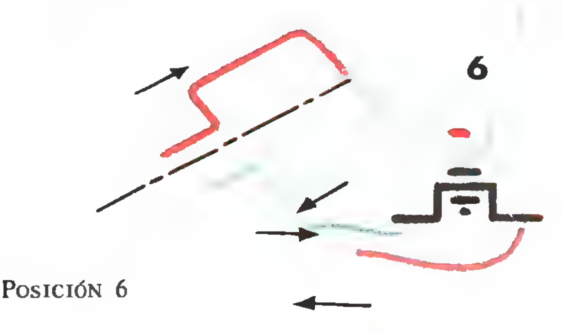
De nuevo la corriente es máxima; su sentido es opuesto al que tenía en la posición 3.





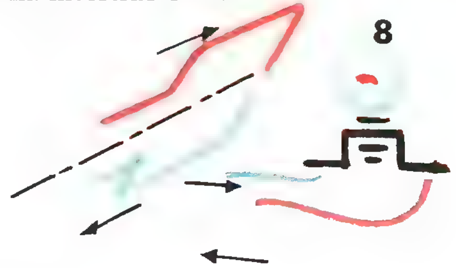
Posición 4

La corriente disminuye, pero conserva el mismo sentido.



Posición 6

Otra vez empieza a circular corriente; pero ahora, de acuerdo con la regla de la mano derecha, se ha invertido el sentido.



Posición 8

Llegamos a un momento similar al de la posición 4. Seguimos con el sentido de la corriente invertido.

Inmediatamente tendríamos otra vez la posición 1 y repetiríamos el ciclo.

La representación gráfica de la corriente inducida en la espira sería la característica de una corriente alterna senoidal.

Resulta que (razonando de una manera sencilla) hemos obtenido la corriente más complicada y no la más simple, que es la continua. Para obtener corriente continua deberemos idear un pequeño ardid constructivo en el colector: sustituiremos los anillos de recogida por uno sólo, pero partido.

Lo que conseguiremos con esta modificación será que en el momento en que se invierta la corriente también cambiarán los conductores que van a la bombilla.

— Vea ahora las ocho posiciones del inducido con la indicación del sentido de la corriente inducida cuando el colector es un solo anillo partido diametralmente.

1

2

3

4

5

6

7

8

Observe que en el momento 6 se invierte el sentido de la corriente en el inducido; pero que, en cambio, la corriente entra y sale de la bombilla sin cambio alguno, puesto que siempre le llega por el mismo hilo.

La corriente que obtenemos ahora es una CORRIENTE PULSATORIA que oscila entre un valor máximo y el valor cero y tiene siempre el mismo sentido.

La misión del colector es ésta: proporcionar una corriente siempre en el mismo sentido; o sea, siempre del mismo signo. Si lo observa bien, verá que el colector no hace otra cosa que conmutar el conductor en contacto con la escobilla. Por ello también recibe el nombre de CONMUTADOR.

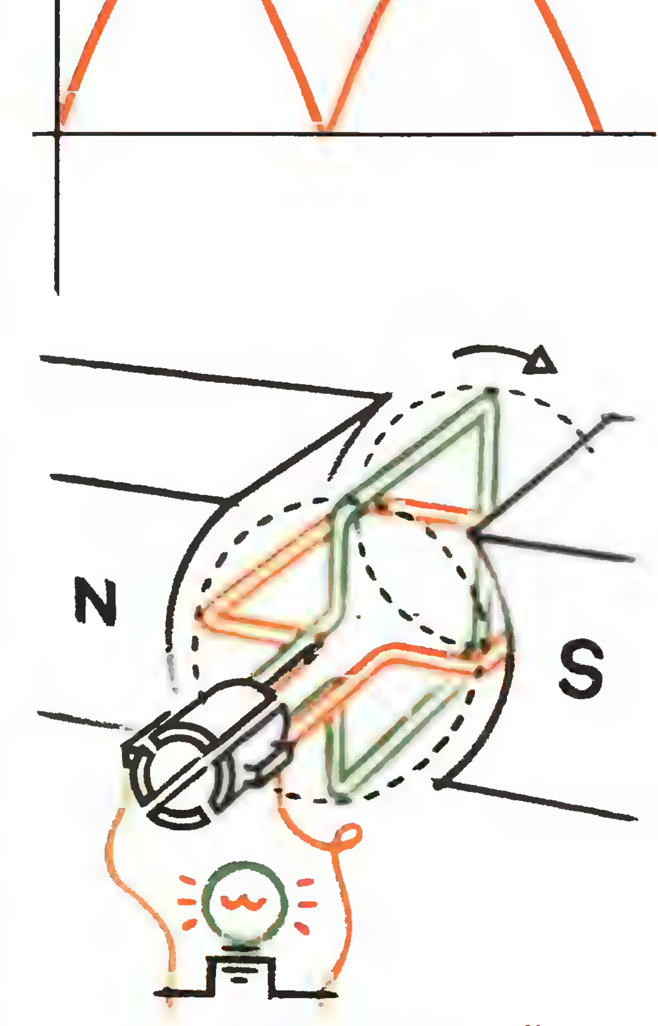
Pero la corriente pulsatoria obtenida tiene demasiada amplitud para que pueda ser considerada como una verdadera corriente continua. Que la corriente pulsatoria pierda amplitud, para rectificarse cada vez más, es cuestión que atañe al número de espiras del inducido, y en consecuencia al número de segmentos del colector.

A título de ejemplo, puede ver el esquema representativo de una dínamo de dos espiras defasadas 90°.

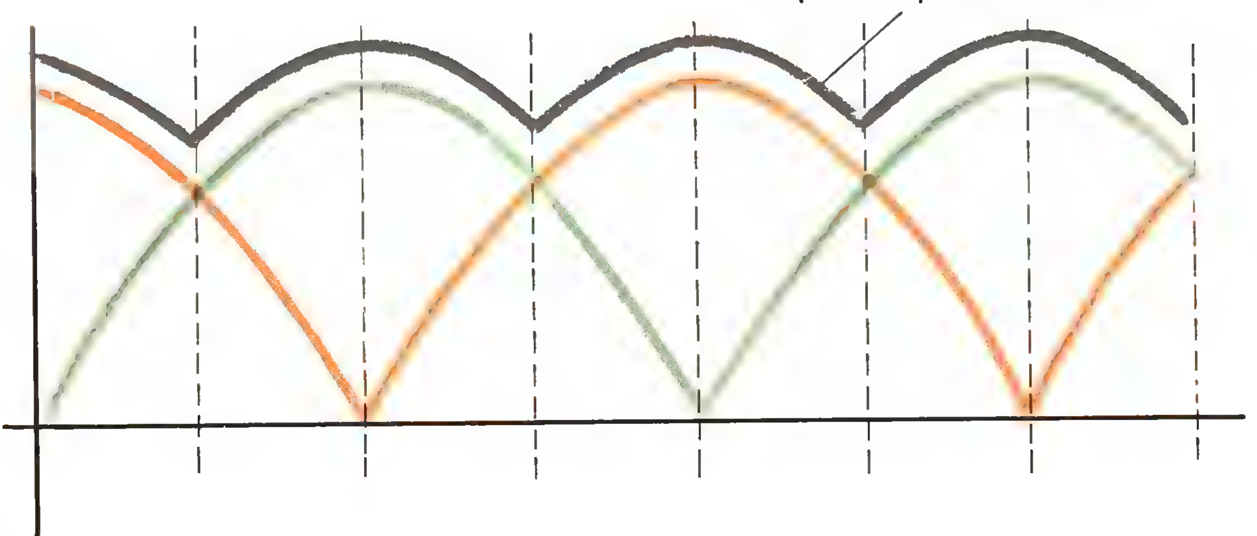
En el instante representado en el dibujo la espira horizontal da una corriente máxima cuando la espira vertical no da corriente alguna.

Si este inducido gira en el sentido de las agujas del reloj, cuando haya descrito un ángulo de 45° las escobillas tomarán contacto con la espira que habrá entrado en el campo; aumentará la corriente en esta espira al mismo tiempo que disminuye en la otra.

La corriente que se recoge en las escobillas y que alimenta el circuito exterior de la dínamo es una corriente pulsatoria, pero de menor amplitud.

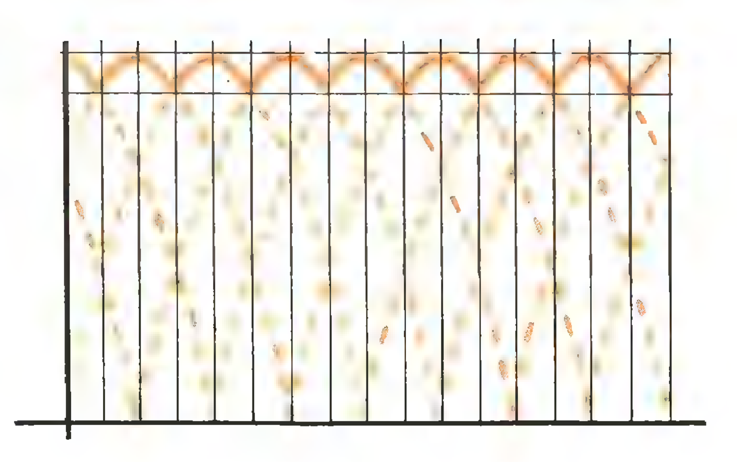


Dínamo con dos espiras defasadas a 90°.



Si, como ocurre en las dínamos *de verdad,* aumentamos mucho más el número de bobinas, la corriente que obtendremos será prácticamente continua.

Queda definido el principio de las máquinas de corriente continua, su fundamento teórico y sus partes esenciales.



Elementos constitutivos de una dínamo: 1. Casquete. — 2. Muelle de la escobilla. — 3. Escobilla. — 4. Portaescobilla. — 5. Colector. — 6. Inducido. — 7. Escobilla montada a la pieza portadora — 8 Carcasa. — 9. Perno para sujetar el polo. — 10. Bobina inductora. — 11. Masa polar de chapa empilada.

INDUCTORES E INDUCIDOS

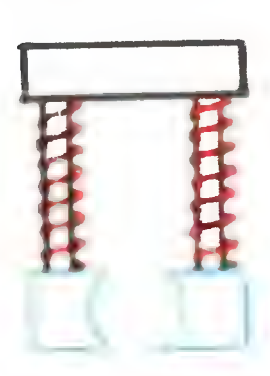
Aunque sólo sea con carácter meramente descriptivo, vamos a dar una idea esencial de los inductores que a través de los tiempos han ayudado a concebir la dínamo actual.

Los dos tipos de inducido más primitivos son el EDISON y el GRAMME. Actualmente apenas se utilizan como no sea en dínamos de tamaño muy reducido, útiles para servicios auxiliares: medidas, telefonía, etc.

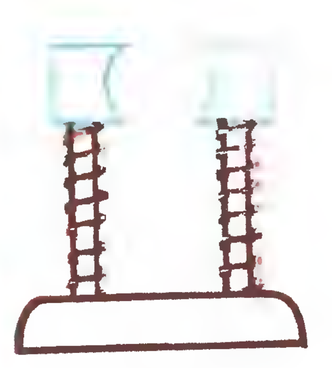
Debemos citar, además, el tipo SIN CULATA, el MANCHESTER, el LAHMEYER, el THURY y el GRAMME MULTIPOLAR, que quizás haya sido el más utilizado y el que perdura en la actualidad. Puede ver en las siguientes figuras una representación esquemática de estos inductores.

Debe tenerse en cuenta que, ante las mayores ventajas de la corriente alterna, el desarrollo de las dínamos se ha visto interrumpido por la aparición de los alternadores. Puede decirse que hoy en día no se construyen grandes dínamos.

Una de las cosas que más ha frenado el progreso técnico, en lo que a fabricación de dínamos se refiere, es la gran complicación que entraña su colector.



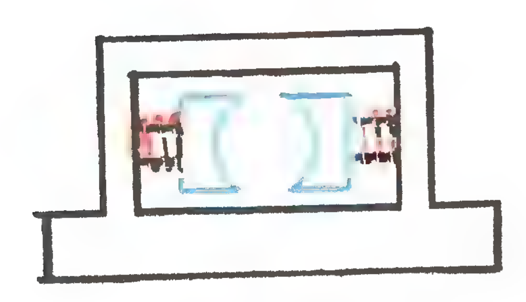
Inductor Edison.



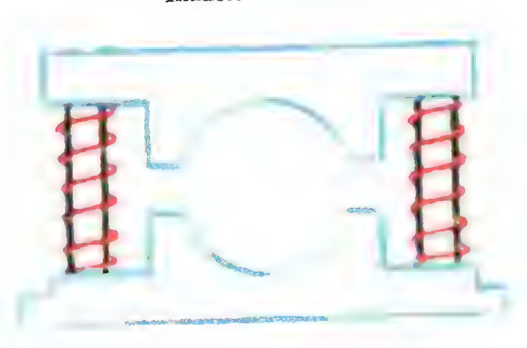
Inductor Gramme.



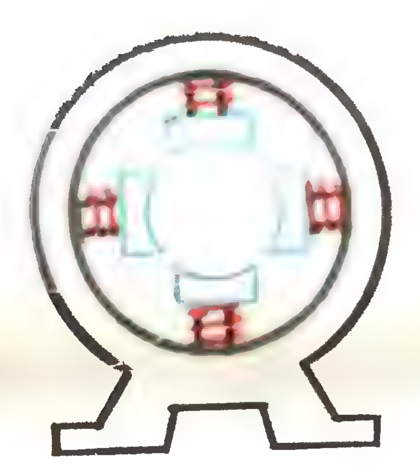
Inductor sin culata.



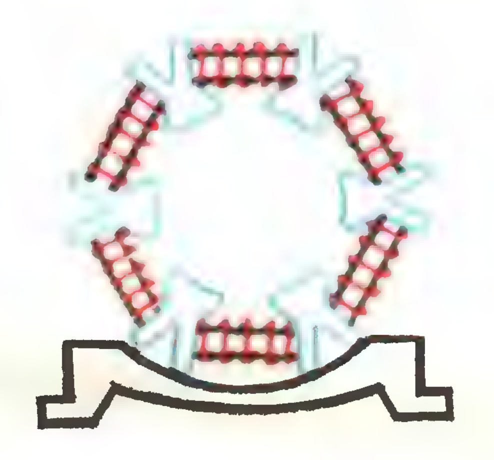
Inductor Lahmeyer.



Inductor Manchester

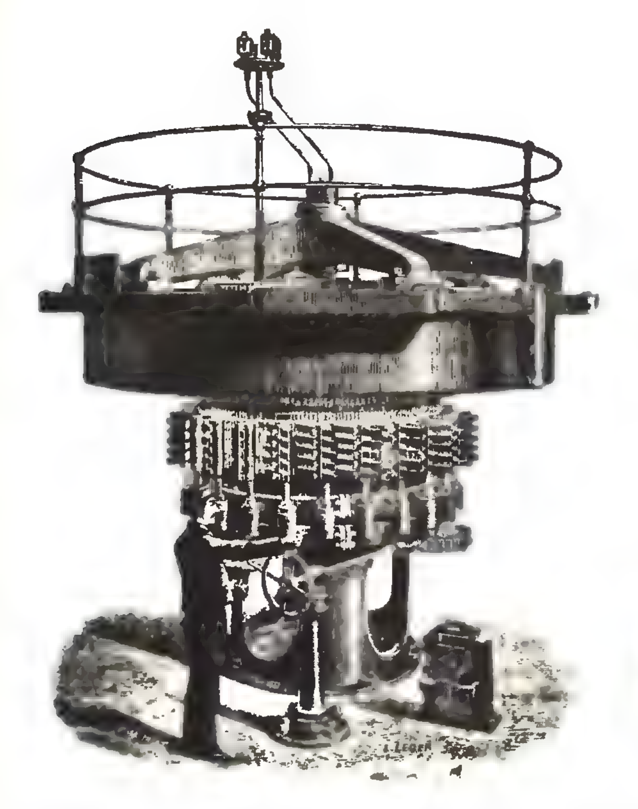


Inductor Gramme multipolar.



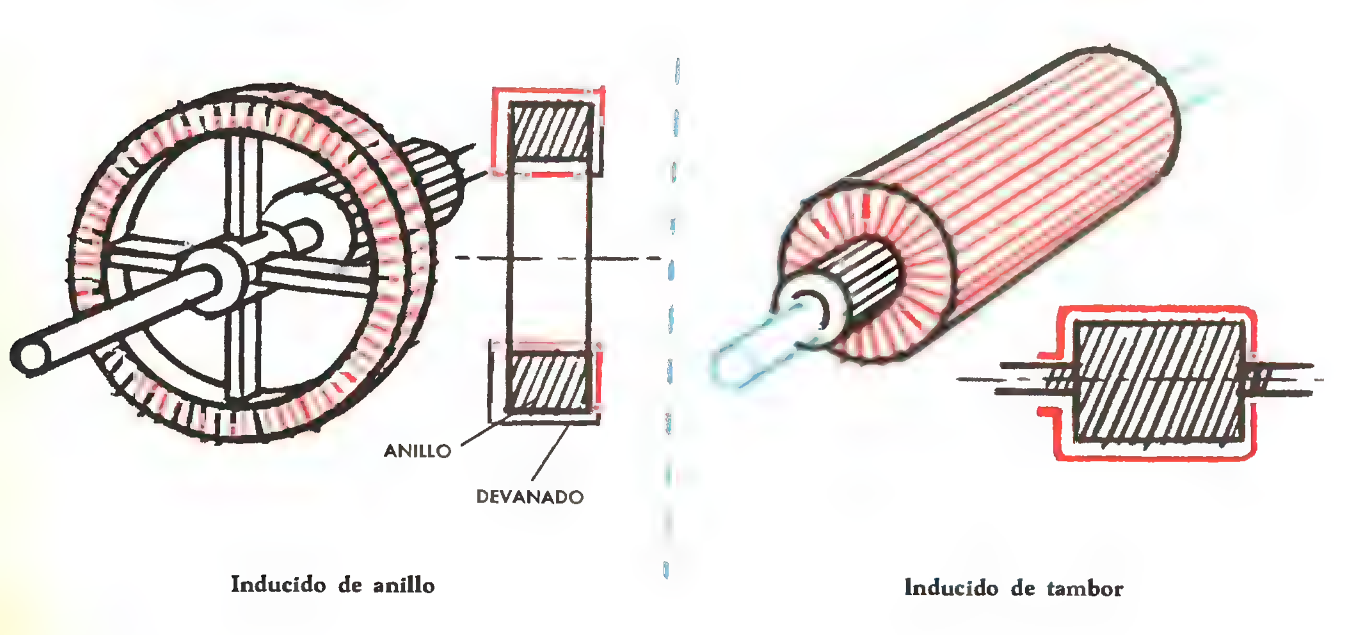
Inductor Thury.

La dínamo tuvo su gran época a finales del siglo XIX y a principios del XX. Como ejemplo vea algunas dínamos de dicha época en las figuras inmediatas.





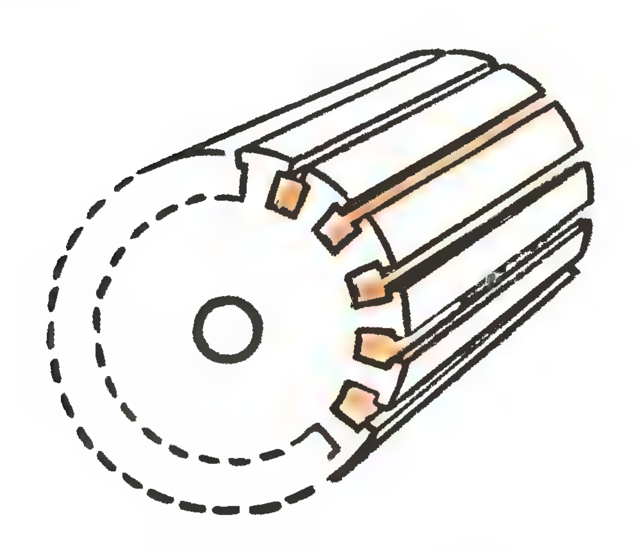
Respecto al inducido, y siguiendo cierto orden cronológico, podemos señalar dos tipos fundamentales: el inducido de anillo y el de tambor.

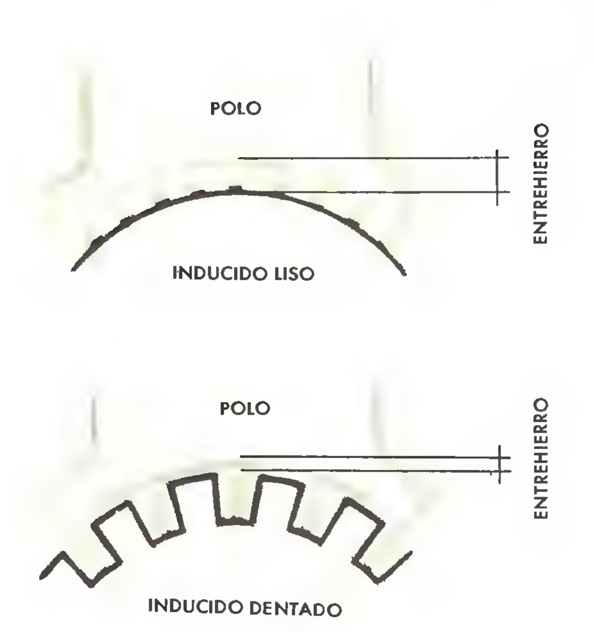


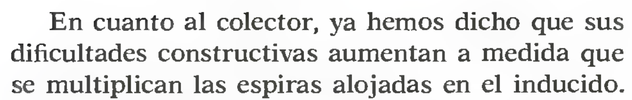
Inducido de anillo

Inducido de tambor

Los inducidos de tambor llevan las espiras alojadas en unas ranuras axiales, que evitan que el entrehierro existente entre inductor e inducido sea excesivamente ancho.



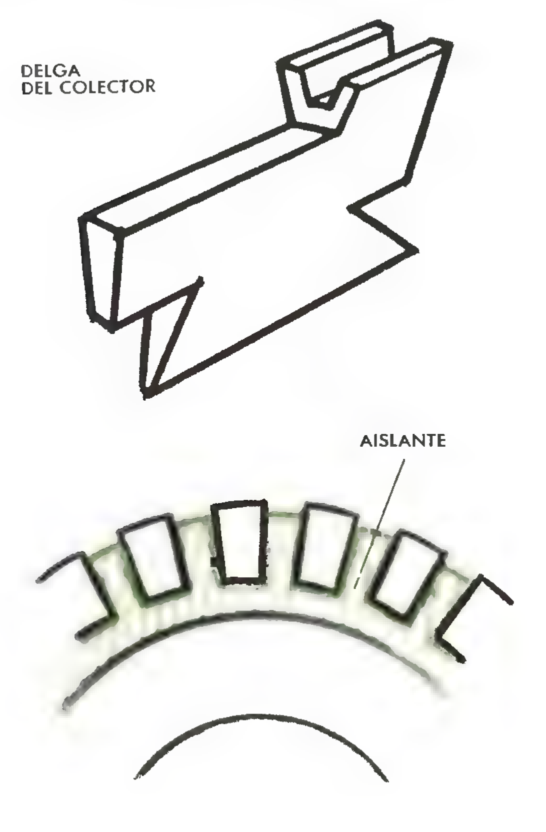


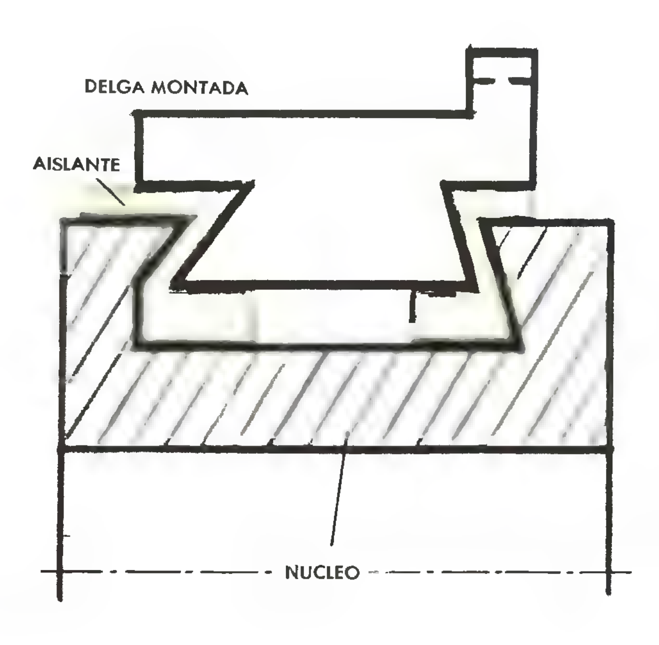


En cuanto al colector, ya hemos dicho que sus dificultades constructivas aumentan a medida que se multiplican las espiras alojadas en el inducido.

Los colectores están formados por unos sectores preformados de cobre, que reciben el nombre de DELGAS. Estos sectores o delgas se montan sobre un núcleo y están aislados entre sí.

Hasta aquí no hemos pretendido otra cosa que dar una idea general de los elementos constructivos más esenciales en una dínamo. Sobre estos detalles deberemos insistir cuando enfoquemos definitivamente el tema de *los elementos constructivos de una dínamo;* es decir, cuando tratemos del modo como están construidas.





Las delgas se montan aisladas entre sí sobre un núcleo de forma especial.

EL CAMPO INDUCTOR

Sabemos que la manera más práctica de obtener un fuerte campo magnético es valerse de un electroimán. Por el sistema electromagnético crearemos el campo en cuyo seno debe moverse el inducido; sistema que, dentro de ciertos límites, nos permitirá aumentar el valor de este campo inductor tanto como nos convenga.

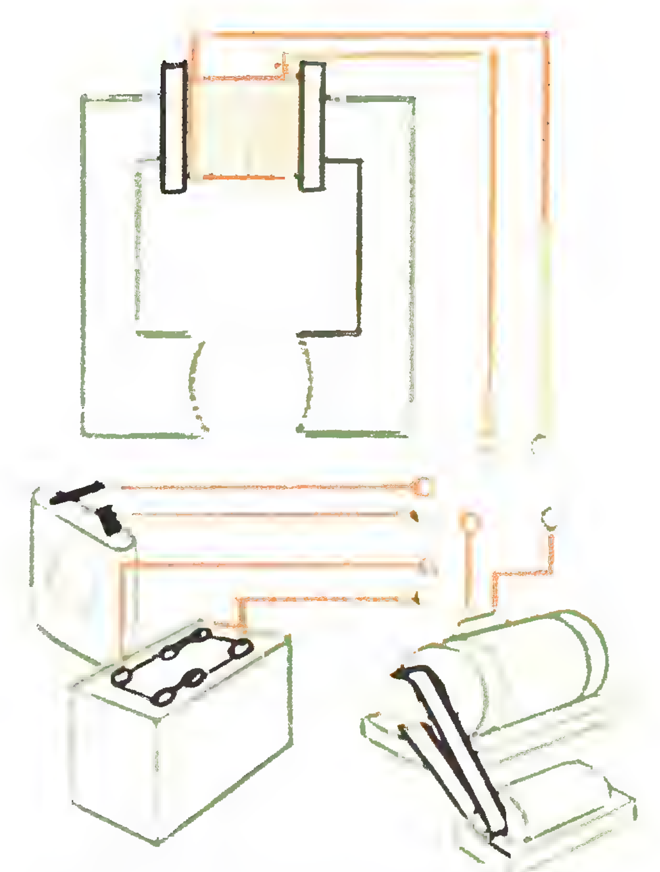
Tenemos ya un campo inductor y un inducido dispuesto a moverse en él. Pero ¿cómo alimentaremos la bobina inductora...? Señalaremos dos procedimientos:

EXCITACIÓN INDEPENDIENTE

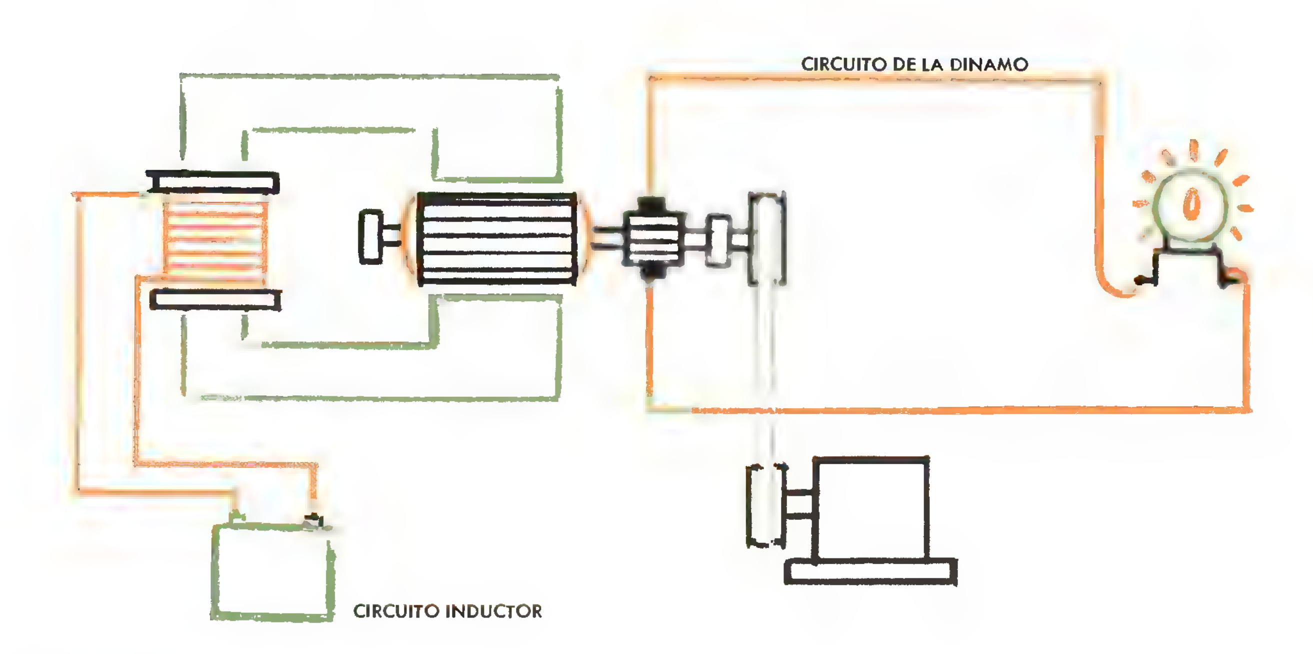
Es una solución técnicamente muy sencilla. Se trata de alimentar la bobina del inductor por medio de cualquier fuente de corriente continua (pila, acumulador, otra dínamo...).

A simple vista parece que con el sistema de excitación independiente se trabaja con dos circuitos totalmente desligados, puesto que el circuito inductor es distinto del de la dínamo.

Sin embargo, cuando hablemos de la REACCIÓN DEL INDUCIDO veremos que no es así; el circuito exterior tiene una marcada influencia en la regularidad del flujo magnético inductor.



Excitación independiente del inductor de una dínamo.



AUTOEXCITACIÓN

Éste es el sistema más empleado, puesto que elimina la supeditación de la marcha de la dínamo a otro circuito.

La misma corriente que produce la dínamo alimenta la bobina del inductor. Esto parece perfectamente lógico, pero también encierra algo de

misterio: ¿cómo puede arrancarse la dínamo por sí misma cuando en el momento del arranque no existe campo inductor?

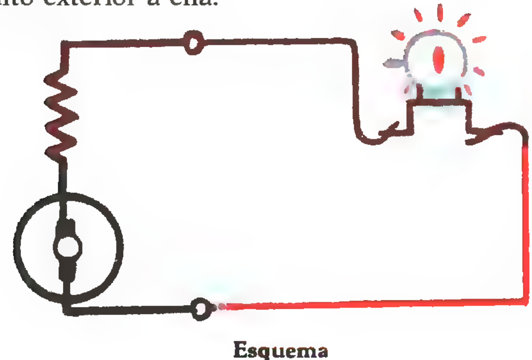
En electricidad, como en toda ciencia, nada ocurre sin una causa; y la explicación de esto, que parece un poco misterioso, no es más que un pequeño truco, uno de los tantos que permiten perfeccionar un determinado ingenio.

A la armadura del electroimán se le da un pequeño magnetismo remanente; o sea que se procura que los polos del inductor sean imanes permanentes, pero con un campo muy débil. De este modo, cuando, gracias a un impulso mecánico, el inducido se pone en rotación sus espiras cortan un débil campo magnético; suficiente, empero, para crear una pequeña corriente inducida que al pasar por el carrete inductor refuerza el campo, aumentando el valor de la corriente en las espiras del inducido. El ciclo se repite mientras la dínamo está en marcha.

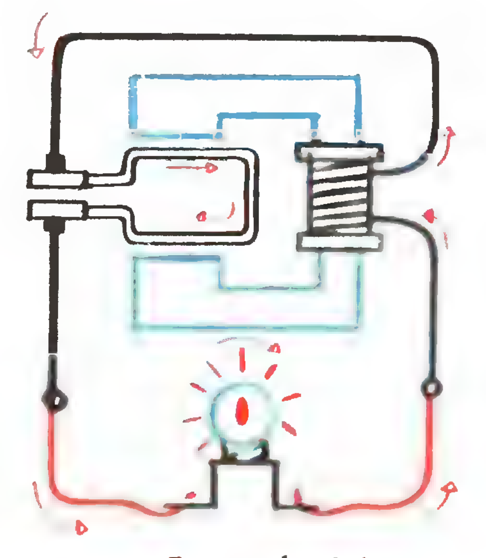
La autoexcitación puede plantear de tres formas distintas: en SERIE, en DERIVACIÓN y COMPOUND (compuesta). Según se adopte una u otra de estas tres soluciones, diremos que se trata de una DÍNAMO SERIE, de una DÍNAMO DERIVACIÓN o de una DÍNAMO COMPOUND.

DINAMO SERIE

En estas dínamos las espiras del inducido y los carretes del inductor están en serie con el circuito exterior. Vea el esquema técnico y el descriptivo de una dínamo serie conectada a un circuito exterior a ella.



Esquema

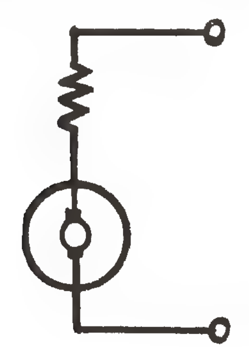


Esquema descriptivo

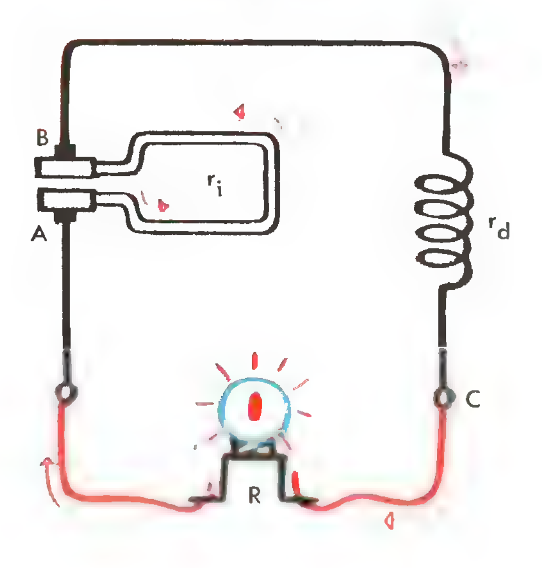
De estos esquemas vamos a extraer importantes conclusiones, la primera de las cuales es la característica fundamental de este tipo de dínamos:

CUANDO EL CIRCUITO EXTERIOR DE UNA DÍNAMO SERIE ESTÁ ABIERTO (CUANDO LA DÍNAMO NO TIENE CARGA) NO SE EXCITA.

Dicho con palabras vulgares: una dínamo serie sin carga no da corriente. De ahí que para excitarla se cierre el circuito sobre una pequeña resistencia.



A circuito abierto la dínamo serie no se excita.



Las resistencias r_i, r_d y R forman la resistencia total de la dínamo serie con carga.

Pasemos ahora al capítulo de las fórmulas para llegar a otras conclusiones sobre el comportamiento de la dínamo serie.

En el esquema de la dínamo serie con circuito exterior es fácil advertir que la corriente debe vencer tres resistencias distintas:

De A a B, la corriente debe vencer la resistencia de las espiras del inducido. A esta resistencia la llamaremos r_i.

De B a C encontrará la resistencia del arrollamiento del inductor; la llamaremos r_d.

De C a A existe la resistencia del circuito exterior, que representaremos por R.

En definitiva, la resistencia total será:

$$r_i + r_d + R$$

Y, según la ley de Ohm, la intensidad que circule por el sistema será:

$$i = \frac{e}{r_i + r_d + R}$$

siendo *e* la f.e.m. engendrada en las espiras del inducido. Esta fórmula podemos escribirla así:

$$e = i\,(r_i + r_d + R) \quad \text{o bien}$$
$$e = i\,(r_i + r_d) + iR$$

Pero $i\,(r_i + r_d)$ será la caída interna de la dínamo (recuerde el caso de las pilas); y en consecuencia podremos escribir:

$$e - i\,(r_i + r_d) = V$$

En esta fórmula, V es la d.d.p. entre los bornes de la dínamo, cumpliéndose la ley de Ohm:

$$V = IR$$

Observe ahora que si en la fórmula

$$i = \frac{e}{r_i + r_d + R}$$

disminuye R, aumentará el valor de i. Esta observación, llevada al plano real, nos dice que si disminuimos la resistencia exterior a una dínamo serie aumentará la intensidad que proporcione, lo que motivará inmediatamente un aumento del flujo inductor y como consecuencia inmediata un aumento del voltaje. A mayor voltaje, para una misma resistencia, tendremos mayor intensidad; es un círculo vicioso. De ello deducimos que es peligroso disminuir la carga exterior de una dínamo serie, ya que, por aumentar considerablemente la corriente, puede llegar a comprometerse la integridad de los aislantes. Como se dice vulgarmente, podemos *quemar* la dínamo.

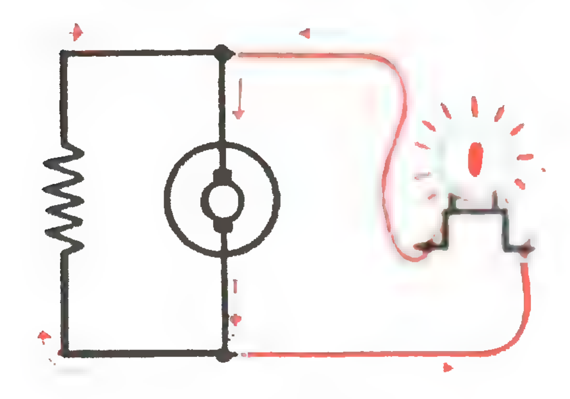
Sepa, además, que estas dínamos *no son aptas* para cargar baterías. La razón es ésta:

Cuando la batería está casi cargada, la intensidad se aproxima a cero; por tanto la dínamo no se excita, disminuyendo rápidamente la f.e.m. En este momento la batería se descarga sobre la dínamo, la cual actúa como un motor. La descarga es de gran intensidad; puede estropear la batería y ocasionar una seria avería en la dínamo.

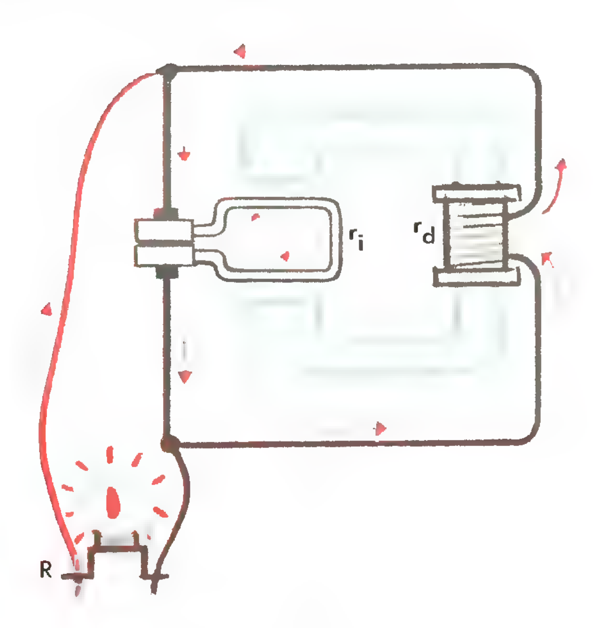
Se comprende que, por tantas desventajas, la dínamo serie sea muy poco utilizada.

DINAMO DERIVACION

En estas dínamos las tres resistencias a considerar (r_i del inducido, r_d del inductor y R del circuito exterior) están en paralelo o derivación.

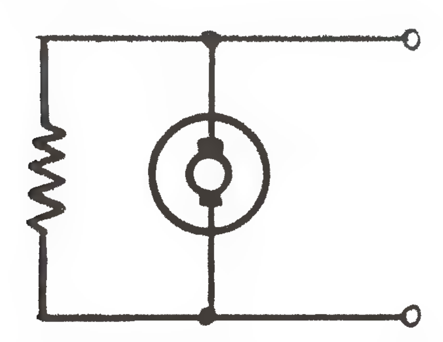


Esquema teórico



Esquema descriptivo

Contrariamente a lo que ocurre con la dínamo serie, la dínamo derivación se excita sin necesidad de que se le conecte una carga. Es decir: produce corriente (amperios y voltios) con sólo ponerla en marcha.



La dínamo derivación, a circuito abierto, se excita.

Procedamos ahora como en el caso anterior para ver qué relación existe entre la corriente generada por la dínamo y el valor de la resistencia exterior.

La resistencia total del circuito será:

$$r_i + \frac{1}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R}} = r_i + \frac{R \times r_d}{r_d + R}$$

Del valor anterior deduciremos, por la ley de Ohm, que la intensidad debe ser:

$$i = \frac{e}{r_i + \frac{R \times r_d}{r_d + R}}$$

Despejando *e*, tendremos:

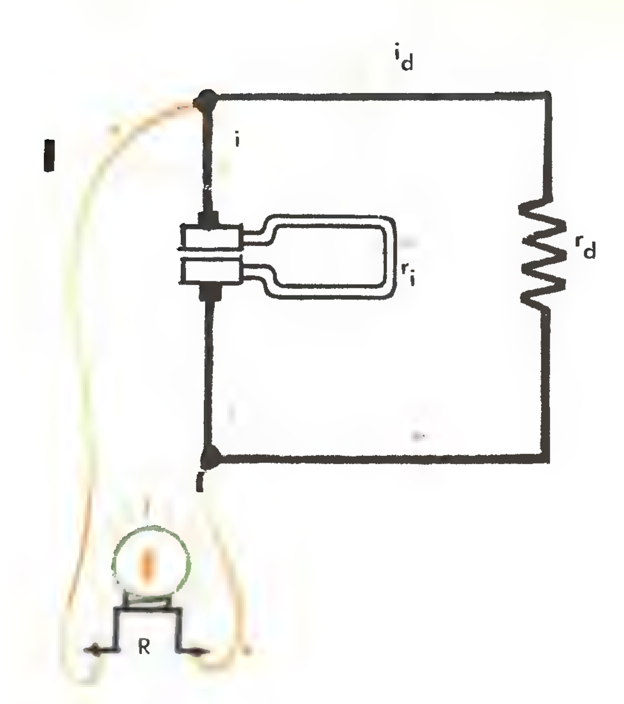
$$e = ir_i + i \left(\frac{R \times r_d}{r_d + R}\right)$$

El valor ir_i es la caída interna de la dínamo, de donde deduciremos que la d.d.p. entre sus bornes será:

$$V = e - ir_i$$

Es decir:

$$V = i \left(\frac{R \times r_d}{r_d + R}\right)$$



Para la dínamo, y de acuerdo con la ley de Ohm, debe cumplirse:

$$i_d = \frac{V}{r_d}$$

En la dínamo derivación (es fácil deducirlo de las fórmulas que acabamos de ver), cuando disminuye la resistencia de carga del circuito exterior aumenta la intensidad, pero disminuye la d.d.p. entre bornes. Sucede lo contrario de lo que veíamos en la dínamo serie.

Vamos a comprobarlo, estableciendo unos valores cualesquiera. Digamos, por ejemplo que:

$$r_i = 3\,\Omega$$
$$r_d = 2\,\Omega$$
$$R = 50\,\Omega$$
$$e = 120\ \text{V}$$

Aplicando estos valores a la fórmula de la intensidad, tendremos:

$$i = \frac{e}{r_i + \frac{1}{\frac{1}{r_d} + \frac{1}{R}}} = \frac{120}{3 + \frac{1}{0'5 + 0'02}} =$$

$$= \frac{120}{3 + 1'92} = \frac{120}{4'92} = 24'3\ \text{A}$$

Ahora, conservando los demás valores, hagamos que sea $R = 5\,\Omega$.

$$i = \frac{120}{3 + \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{5}}} = \frac{120}{3 + \frac{1}{0'5 + 0'2}} =$$

$$= \frac{120}{3 + 1'4} = \frac{120}{4'4} = 27'2 \text{ A}$$

La intensidad, como puede comprobar, ha aumentado.

Veamos lo que ocurre con el voltaje:

$$V = e - ir_i$$

En el primer caso:

$$V = 120 - (24'3 \times 3) = 120 - 72'9 = 47'1 \text{ V}$$

En el segundo caso, cuando disminuye la resistencia exterior:

$$V = 120 - (27'2 \times 3) = 120 = 81'6 = 38'4 \text{ V}$$

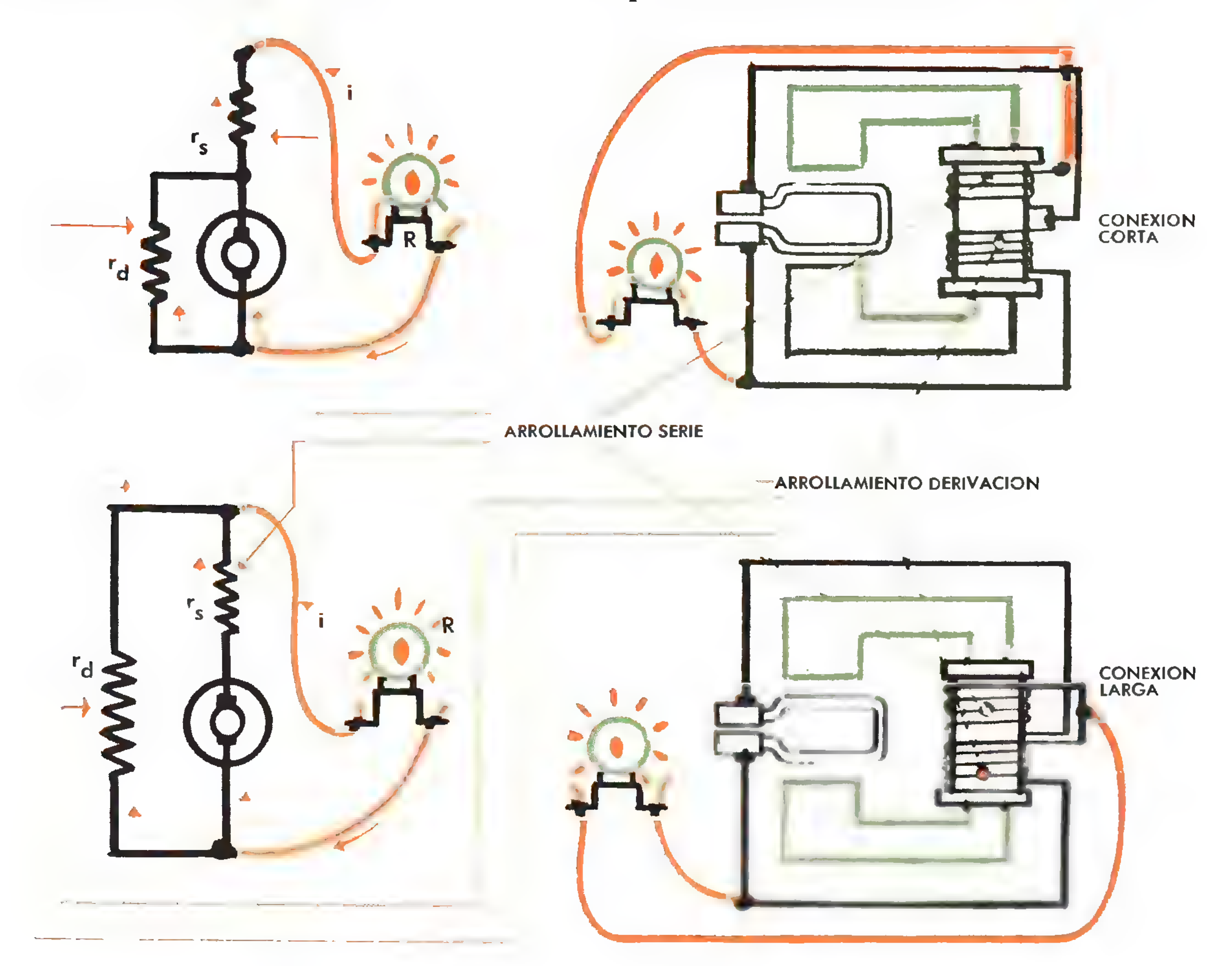
Evidentemente, el voltaje disminuye.

En este tipo de dínamos no se produce el fenómeno de la inversión de la corriente al cargar una batería, por lo que resultan indicadas para este menester.

DINAMO COMPOUND

Es, por así decir, un tipo de dínamo que resume los dos casos anteriores y con el cual, combinando adecuadamente los arrollamientos, puede obtenerse una d.d.p. entre bornes prácticamente constante dentro de unos límites.

Existen dos tipos de dínamos compound, que se distinguen por la forma en que se ha efectuado el conexionado de sus arrollamientos: la dínamo compound de conexión larga y la dínamo compound de conexión corta.



Como usted sabe perfectamente cómo debe calcularse la reducida de un sistema de resistencias en los circuitos de c.c., fácilmente llegará a la conclusión de que en cada una de estas conexiones el valor de la intensidad es:

CONEXIÓN CORTA

$$i = \frac{e}{R + r_s + \dfrac{1}{\dfrac{1}{r_i} + \dfrac{1}{r_d}}} =$$

$$= \frac{e}{R + r_s + \dfrac{r_i \times r_d}{r_i + r_d}}$$

CONEXIÓN LARGA

$$i = \frac{e}{R + \dfrac{1}{\dfrac{1}{r_s + r_i} + \dfrac{1}{r_d}}} = \frac{e}{R + \dfrac{r_d\,(r_s + r_i)}{r_s + r_i + r_d}}$$

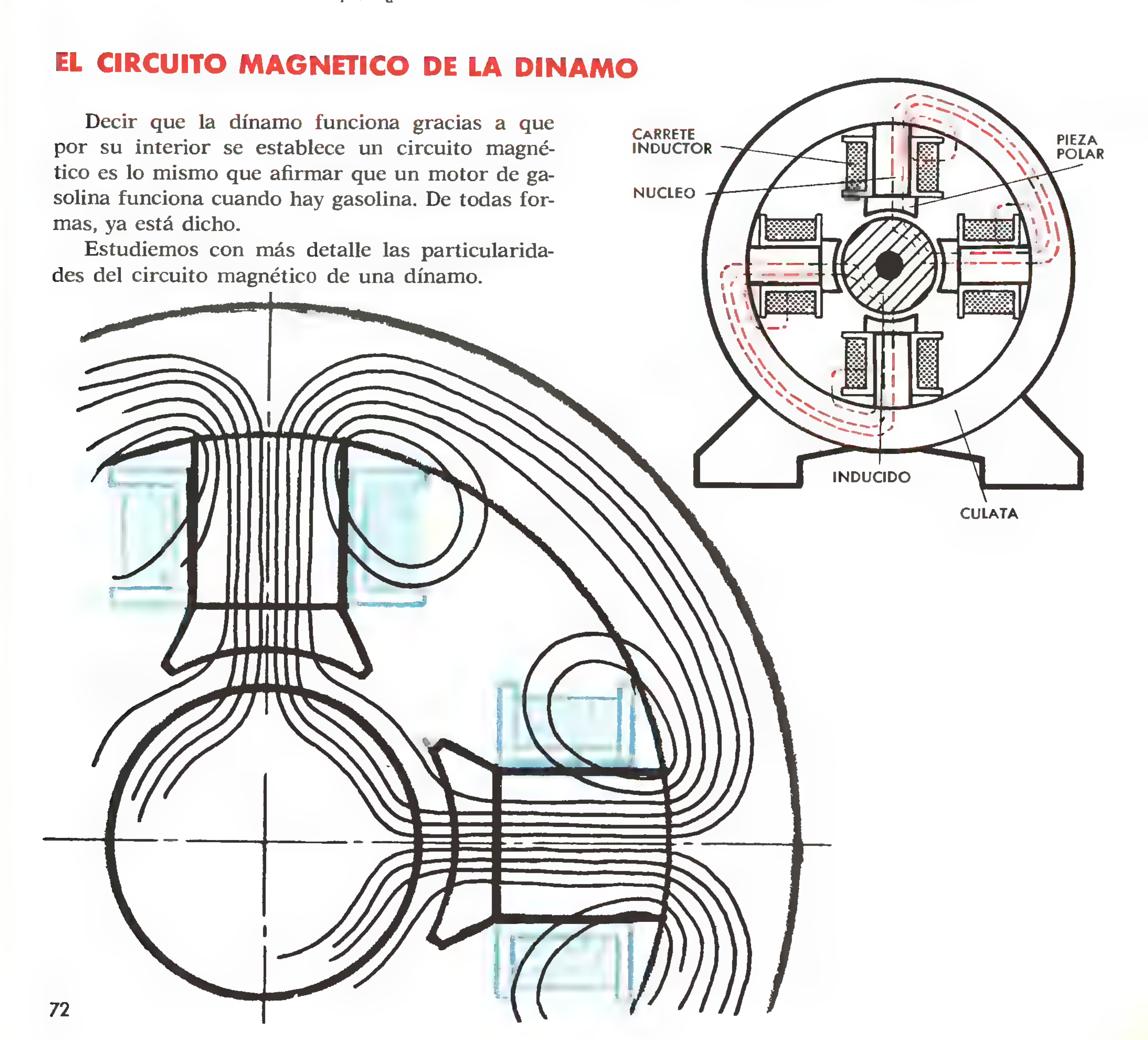
Hemos comprobado que en las dínamos serie y en las dínamos derivación las variaciones de la carga modifican considerablemente los valores de la intensidad y de la tensión.

Cuando conviene mantener constante uno de estos valores se recurre al concurso de unos dispositivos llamados REGULADORES, de los que hablaremos más adelante a fin de no interrumpir este estudio de los elementos de una dínamo, que vamos siguiendo ahora con total fluidez.

EL CIRCUITO MAGNETICO DE LA DINAMO

Decir que la dínamo funciona gracias a que por su interior se establece un circuito magnético es lo mismo que afirmar que un motor de gasolina funciona cuando hay gasolina. De todas formas, ya está dicho.

Estudiemos con más detalle las particularidades del circuito magnético de una dínamo.



Lo fundamental es que el inductor debe crear un flujo cuya magnitud sea suficiente para que cuando lo corten las espiras del inducido nazca en ellas la f.e.m. deseada.

Suponiendo una dínamo tetrapolar (cuatro polos o, mejor dicho, dos pares de polos), obtendríamos la distribución de flujo que describimos gráficamente.

Como puede observar, la mayor parte de las líneas de campo se cierran a través del circuito magnético. Otras, en cambio, se cierran en el aire, formando lo que llamaremos el FLUJO DE DISPERSIÓN.

Advierta, además, que cada carrete debe crear un flujo doble del que circula por la culata y sección correspondiente del inducido.

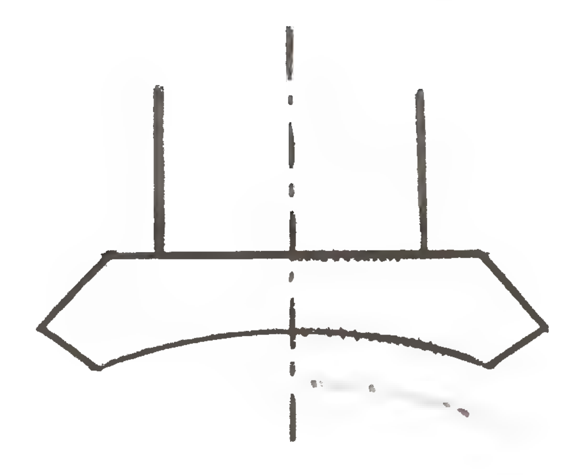
Es de observar que las líneas de campo se separan al llegar al entrehierro, distribuyéndose a lo largo de las piezas polares. Para facilitar esta separación del flujo y para disminuir al mismo tiempo la inducción en los extremos polares, con el fin de que el paso de los conductores de un polo a otro se realice sin brusquedades innecesarias, se han estudiado piezas polares algo abiertas por sus puntas.

De acuerdo con lo dicho, el campo magnético creado por las bobinas del inductor deberá ser siempre algo mayor que el que sería teóricamente necesario para obtener la f.e.m. deseada. Este incremento necesario en la intensidad del campo sirve para compensar las pérdidas por dispersión de flujo.

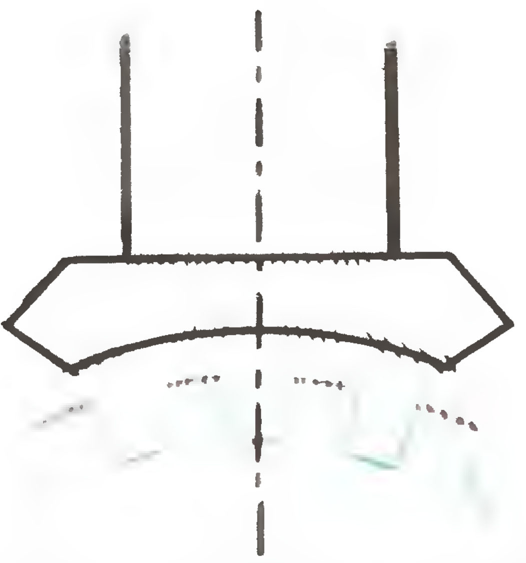
La culata de las dínamos suele construirse de fundición de hierro o acero, lo mismo que las piezas polares de las dínamos de pequeño tamaño.

En las dínamos grandes las piezas polares suelen ser de chapa magnética empilada hasta obtener los gruesos necesarios. Esta forma constructiva evita la formación de las corrientes parásitas que se originan por el desplazamiento de las líneas de campo al buscar las cabezas de los dientes del inducido. Este desplazamiento representa una variación del flujo, con lo cual resulta lógica la formación de corrientes parásitas.

Para facilitar la construcción, cuando la pieza polar se construye con plancha magnética, se le da una forma que comprenda también el núcleo. Formando una sola pieza, se fija a la culata con tornillos.



Al abrir las puntas de los extremos polares se canaliza la distorsión del flujo.



El desplazamiento de las líneas de fnerza en busca de los dientes del inducido representa una variación del flujo que provoca la formación de corrientes de Foucanlt.



Pieza polar y núcleo formados por planchas magnéticas.

EL INDUCIDO

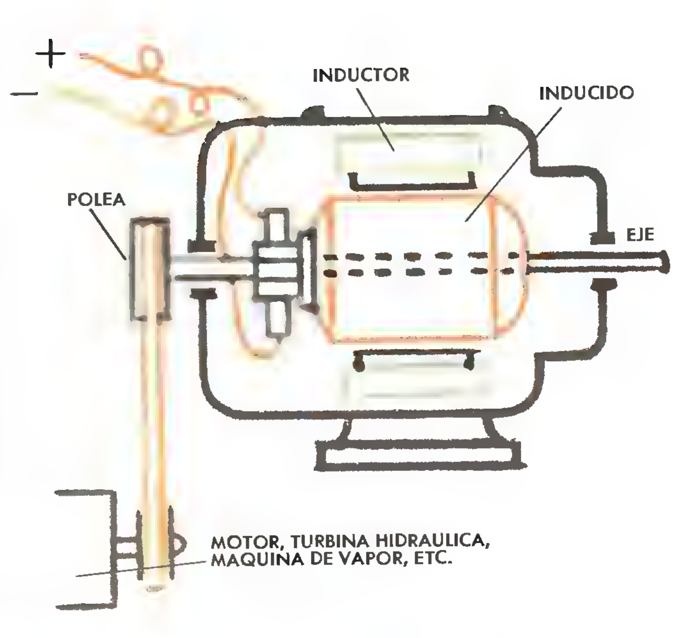
El inducido es, sin duda, la parte más delicada de la dínamo y de más difícil construcción.

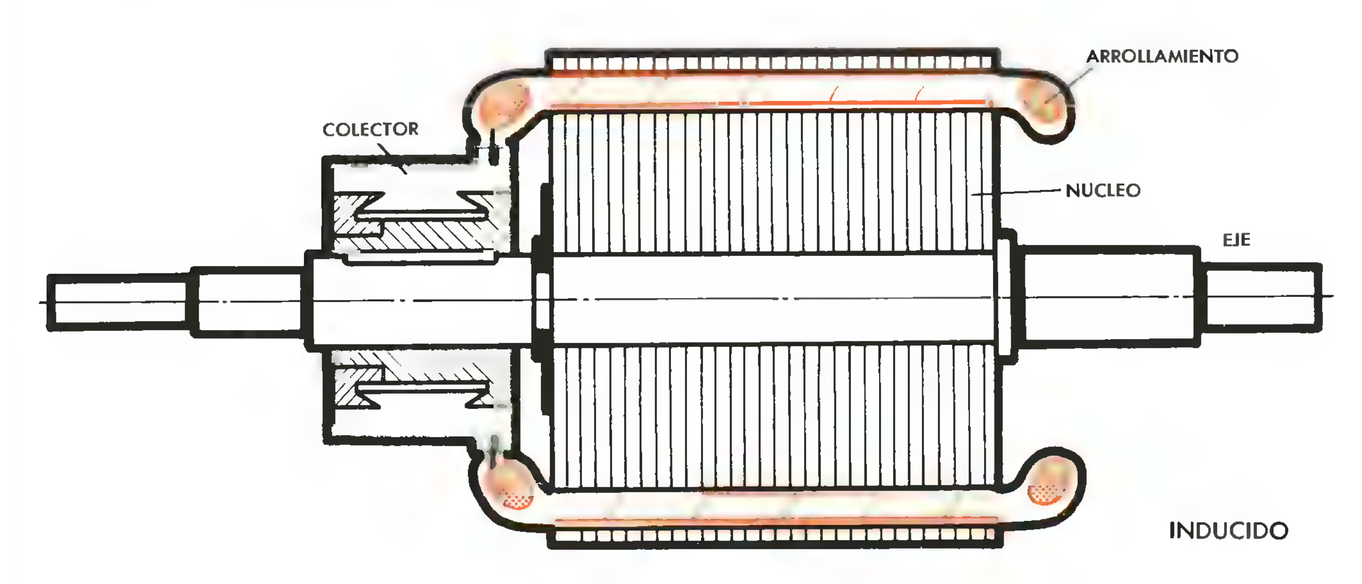
En el inducido podríamos señalar cuatro elementos esenciales: el eje, el colector, el núcleo y el arrollamiento.

El eje sirve de soporte a los demás elementos; al mismo tiempo es el medio mecánico que transmite el movimiento del motor que aporta la energía mecánica que acciona la dínamomotor, que puede ser hidráulico, térmico, de explosión, etc.

Como ya hemos estudiado la misión del colector, cuyos detalles constructivos veremos más adelante, dedicaremos nuestro esfuerzo al estudio del núcleo y su arrollamiento, que forman un conjunto único donde nace la corriente. Este conjunto núcleo-arrollamiento es quizás la parte más esencial de la máquina. A ella dedicaremos mayor espacio.

Digamos, desde el principio, que el núcleo está formado siempre por un empilado de plancha





Las partes eléctricamente activas del inducido quedan montadas sobre el eje de la dínamo.

magnética con el fin de evitar las corrientes de Foucault.

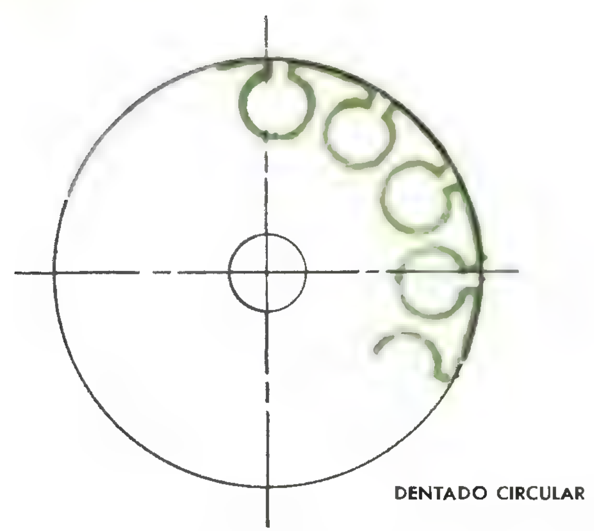
De los dos tipos fundamentales de inducido (de *anillo* y de *tambor*) el primero ha caído en desuso, de forma que, actualmente, sólo se construyen inducidos de tambor.

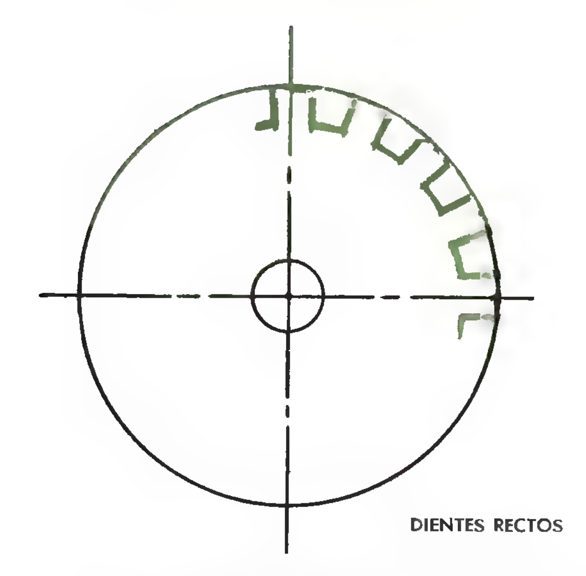
Planchas para núcleos

Las planchas magnéticas para los núcleos de los inducidos son láminas troqueladas con formas que ofrecen ciertas variantes según el sistema empleado para alojar los arrollamientos.

Las planchas para núcleos de tipos más divulgados son las de *dentado circular*, de *dientes rectos* y de *dientes cónicos*.

Las dos últimas formas son las más comunes, sobre todo la segunda (dientes cónicos). Permiten fabricar las bobinas completamente aparte para montarlas después sin la menor dificultad.





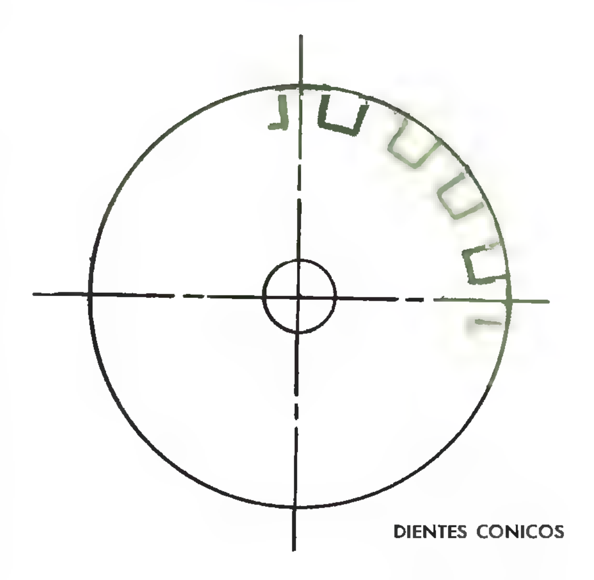
Tiene los dientes con caras paralelas y los alojamientos de forma trapecial.

De estas formas fundamentales derivan otras ideadas por determinados constructores, que han querido añadir a sus dínamos algunos detalles técnicos para mejorar su aspecto, condiciones magnéticas y fijación del devanado.

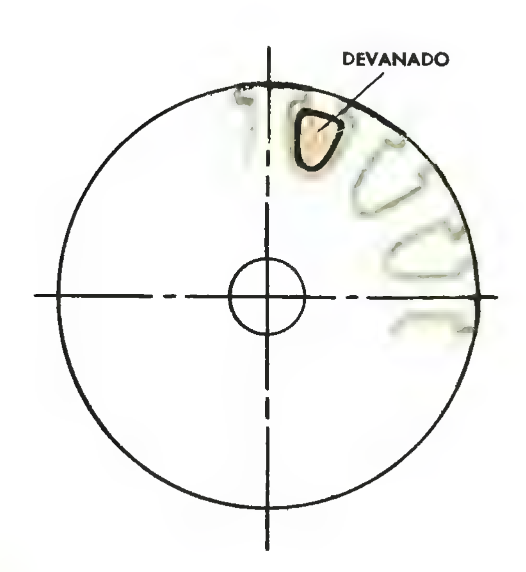
Las planchas se apilan, se prensan y se montan sobre el eje formando un bloque único en las dínamos de pequeño tamaño; o bien, si se trata de grandes dínamos, se montan en *paquetes* parciales, dejando entre ellos unos espacios que son los canales de ventilación.

Cuando el inducido se monta por paquetes, es lógico que se produzcan pequeñas distorsiones del campo magnético debidas al mismo efecto que señalábamos en los dientes.

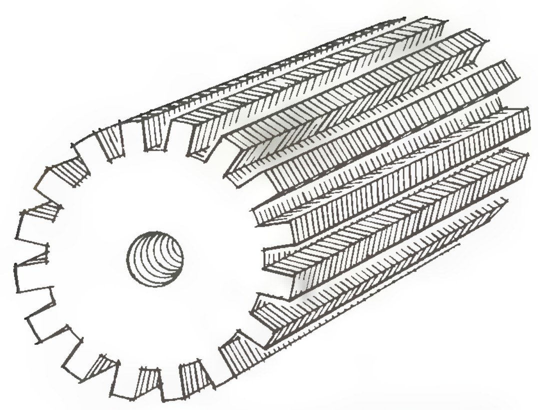
Para los inducidos grandes, y habida cuenta que las líneas del campo magnético tienden a seguir el camino más corto (ello significa que buena parte del área central de las planchas del núcleo no queda afectada por el campo), las planchas se cortan en forma de anillo y se montan sobre una polea de fundición o bronce u otro material poco magnético.



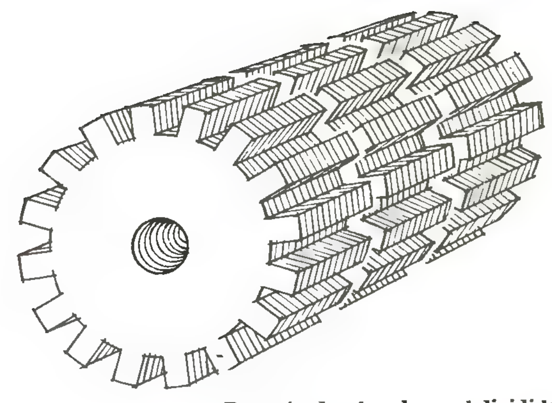
Tiene los alojamientos con caras paralelas y los dientes de forma trapecial.



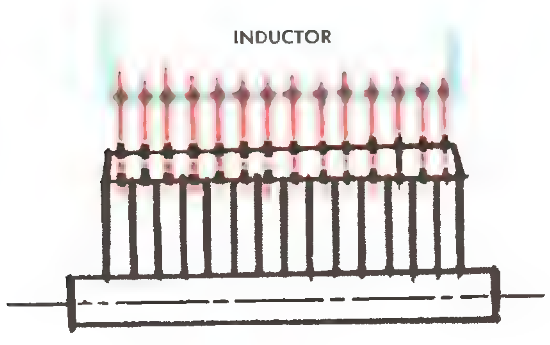


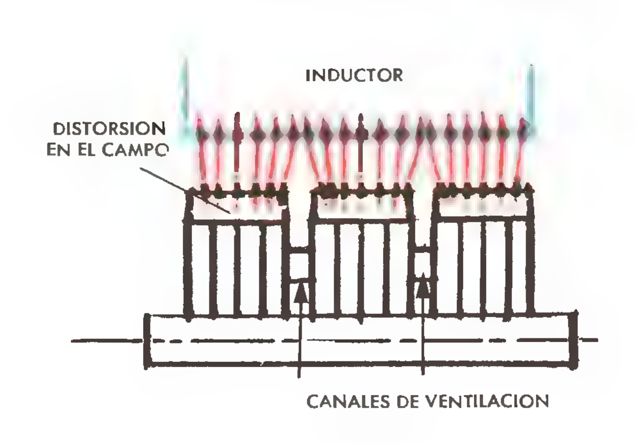


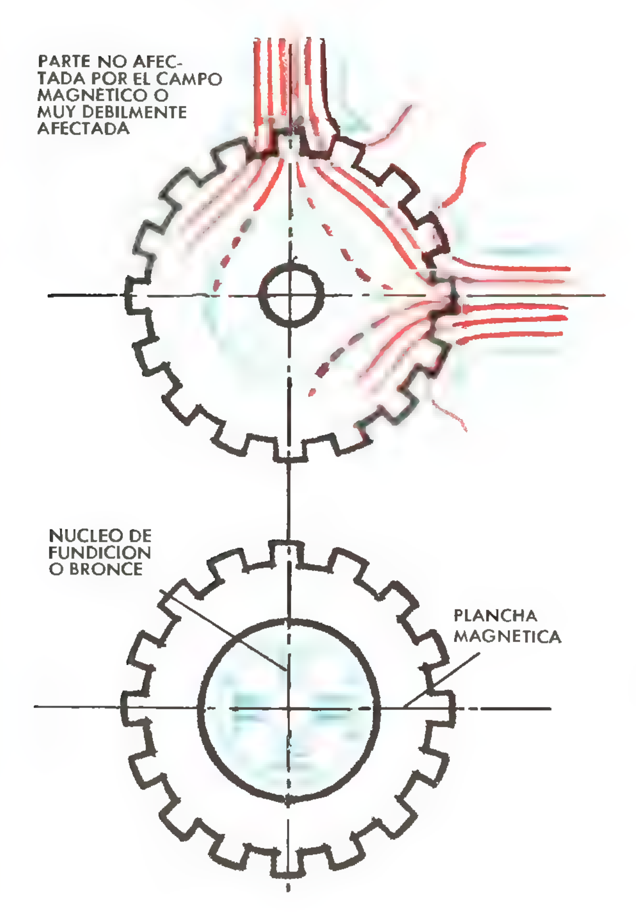
Paquete de planchas entero.

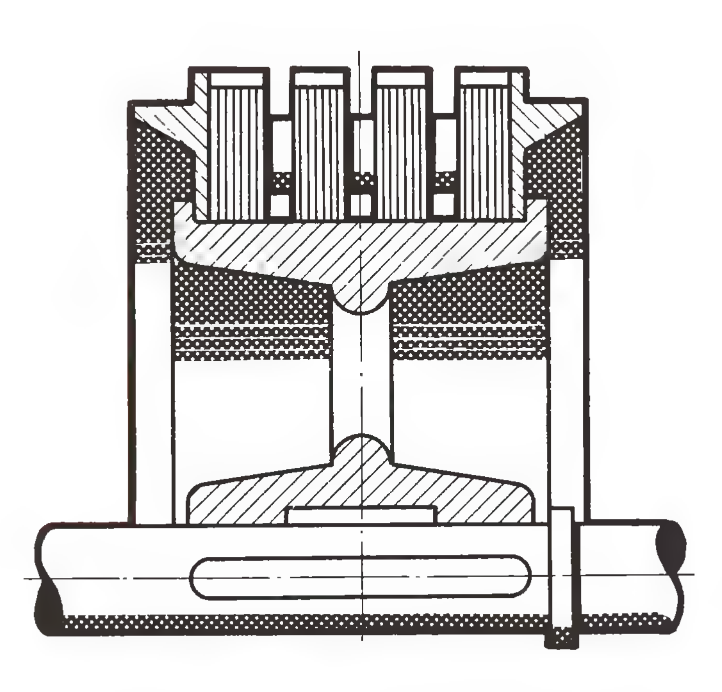


Paquete de planchas subdividido.









Sección de un inducido de gran diámetro con núcleo de fundición.

Construir el devanado de una máquina eléctrica siempre resulta muy comprometido, por la complicación que tales devanados pueden llegar a alcanzar.

Esta parte de la construcción de las máquinas eléctricas es una verdadera especialidad, en la que el grado de capacitación depende de modo muy especial de la práctica realizada al respecto. Los del oficio le dirían que *para ser bobinador hay que bobinar*.

Nuestra intención, en este Curso General, es proporcionarle los conocimientos precisos para que sepa usted cómo se estudian los devanados de una máquina eléctrica y cómo se solucionan técnicamente. Si, con estos conocimientos en cartera, se encontrara usted ante la necesidad de especializarse como bobinador de máquinas eléctricas, es indudable que su único problema estará en la adquisición de la práctica, que no le darán los libros, sino el contacto diario con las máquinas.

DEVANADOS DE UN SOLO CONDUCTOR POR RANURA

ESQUEMAS REPRESENTATIVOS

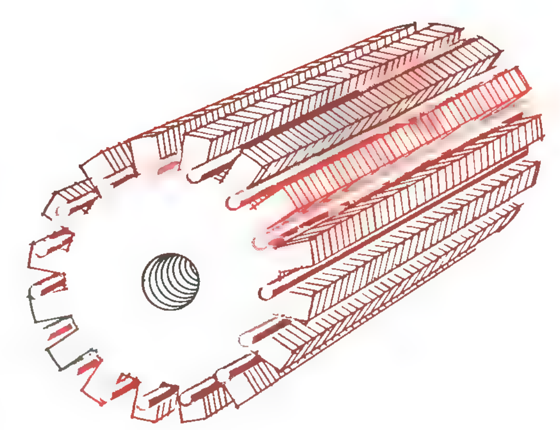
Consideraremos el caso más simple: cuando sólo debe ubicarse un conductor en cada ranura.

La figura representa un núcleo en el que se han introducido los correspondientes conductores (uno en cada ranura), sin que en ella aparezcan las conexiones al colector y las unen los conductores entre sí.

¿Cómo serán y cómo representaremos estas conexiones?

Existen dos sistemas representativos: los ESQUEMAS CIRCULARES y los ESQUEMAS RECTANGULARES.

Un esquema circular se dibuja suponiendo que los conductores situados en el núcleo se abren como las varillas de un paraguas, pivotando en el colector. Vea las figuras que ilustran este detalle y lo comprenderá sin ningún esfuerzo.



Este es el devanado más simple. Inducido con un conductor por ranura.

Planteo del esquema circular.

SUPERFICIE CUBIERTA POR LOS POLOS INDUCTORES

CONDUCTORES

COLECTOR

CONEXIONES POSTERIORES

CONEXIONES ANTERIORES AL COLECTOR

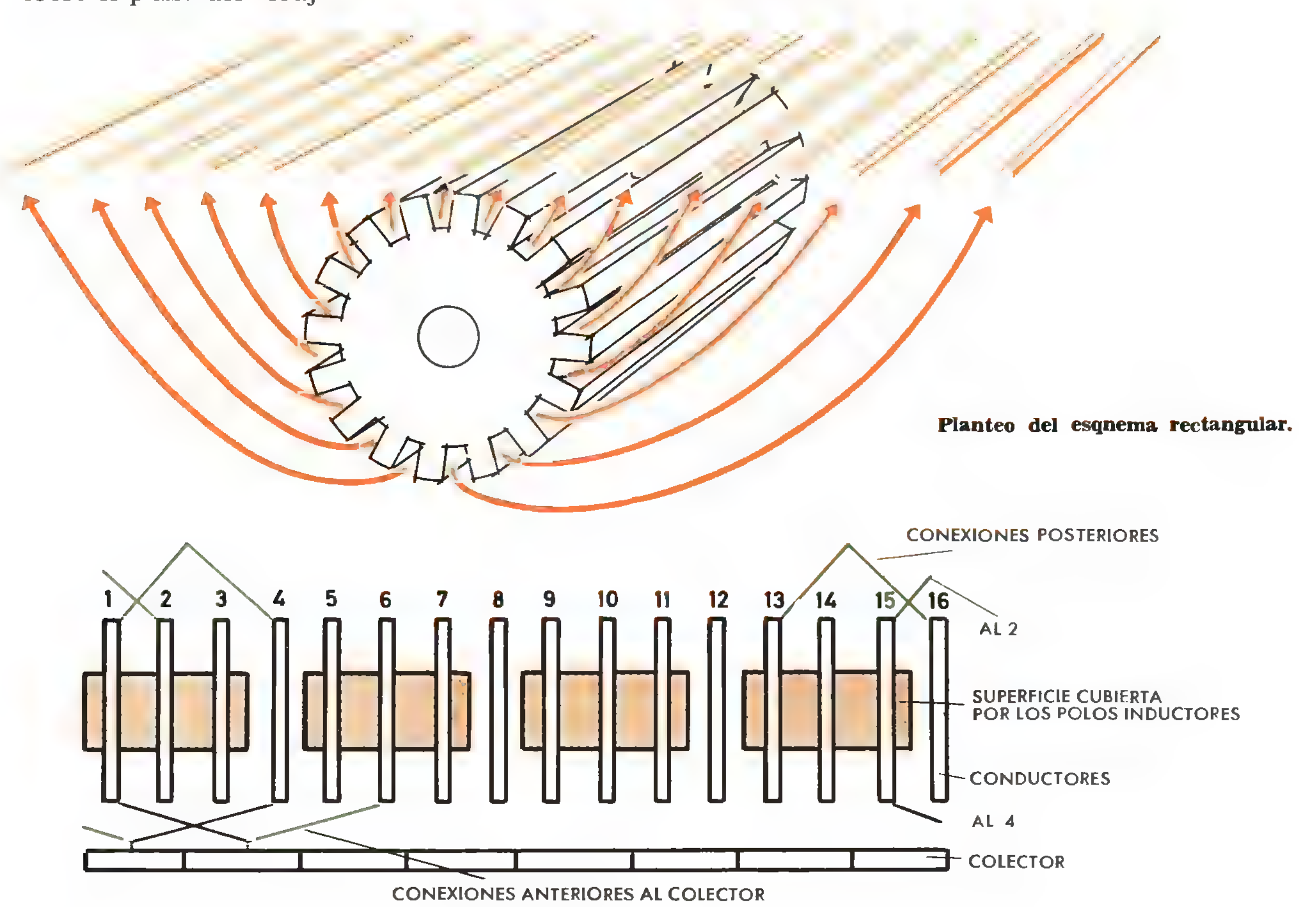
El esquema circular es más claro que el rectangular que ahora veremos; pero también es indudable que su claridad depende mucho de la limpieza del dibujo.

Veamos a continuación lo que es el esquema rectangular:

Este esquema se traza suponiendo que el inducido está cortado por una generatriz y extendido sobre el plano del dibujo.

El esquema rectangular es más fácil de dibujar; pero tiene el inconveniente de dejar interrumpidas las conexiones extremas, que deben imaginarse unidas con las conexiones iniciales. Así, en el ejemplo que proponemos, la conexión 15 debe suponerse unida a la 2 por la parte posterior y la conexión 15 anterior con la 4 del mismo lado.

Después de estas consideraciones, pasemos a otra cuestión.



Planteo del esqnema rectangular.

CONDICIONES QUE DEBE CUMPLIR UN DEVANADO

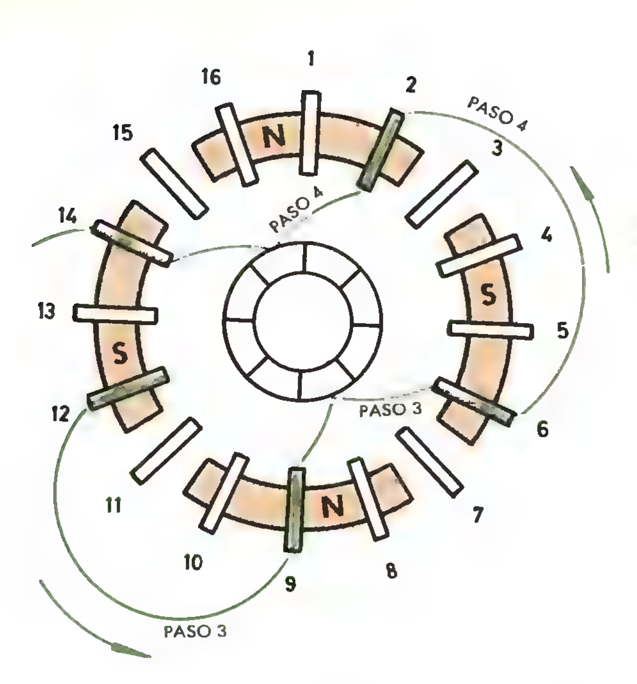
Usted ya sabe que en los conductores que están bajo el influjo de polos de signo distinto se inducen corrientes también de signo contrario.

Esta verdad nos fuerza a hacer que las conexiones posteriores unan conductores situados bajo la acción de polos de signo contrario. Sólo así se sumará la f.e.m. inducida en uno de ellos con la que el polo de signo contrario induce en el otro. Esta cuestión queda aclarada al examinar la figura inmediata.

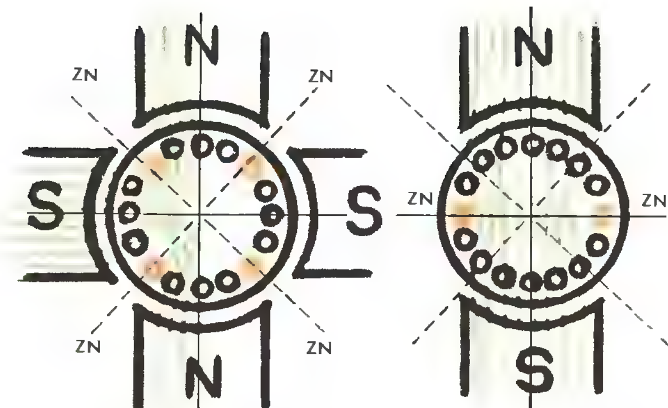
Sepa, antes de estudiar la figura, que al número de conductores que se avanzan para conseguir las uniones posteriores se denomina PASO POSTERIOR.

Por similitud de ideas, llamaremos PASO ANTERIOR al número de conductores que avanzan para conseguir su unión anterior sobre el colector de la dínamo. Mientras el conexionado posterior cumple con la misión de concatenar los conductores para que se sumen las f.e.m. que nacen en ellos, las conexiones anteriores sirven para que esta suma de f.e.m. se recoja en un punto determinado del colector.

Si observa nuestra figura, verá que la f.e.m. nacida en el conductor 12 se suma a la del conductor 9 para, a través de una delga del colector, sumarse a la f.e.m. del conductor 6; de éste pasamos a 2 para llegar al 14 a través de otra delga...,



El conexionado posterior debe unir conductores situados en polos de distinto signo.



En el instante que se considera en estas dos figuras los conductores destacados caen fuera del campo magnético y en ellos no se induce f.e.m. alguna. Las posiciones que representan estos conductores son una zona neutra.

etcétera. Siempre relacionando conductores enfrentados a polos de signo contrario.

Por razones constructivas, los polos no alcanzan todos los conductores; sino que siempre hay algunos que, por quedar fuera del arco abarcado por las masas polares, no aportan ninguna f.e.m. Esto ocurre siempre que un conductor atraviese las zonas interpolares llamadas ZONAS NEUTRAS.

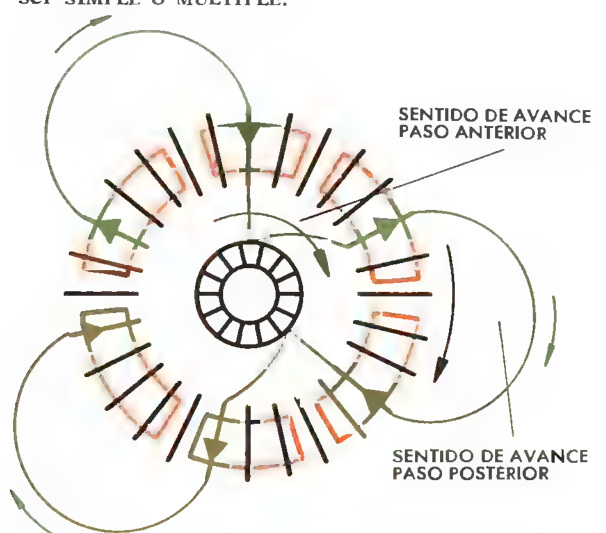
TIPOS DE ARROLLAMIENTO

La unión de los conductores para formar el devanado puede hacerse, fundamentalmente, de dos formas distintas: según un DEVANADO ONDULADO o un DEVANADO IMBRICADO.

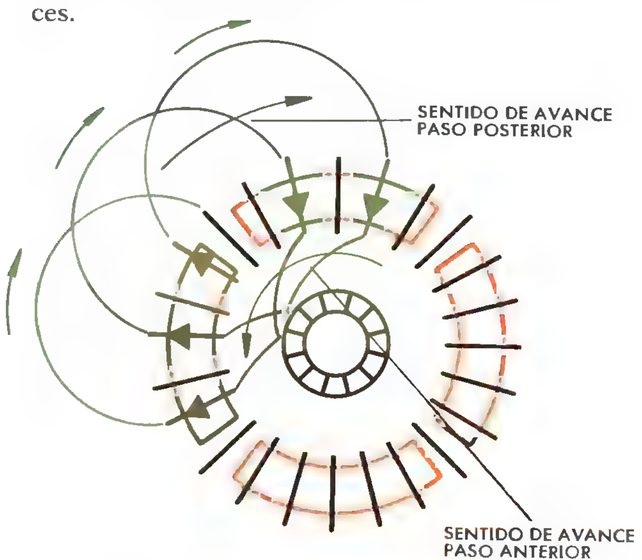
Cada uno de estos tipos de devanados puede ser SIMPLE O MÚLTIPLE.

Será simple cuando, al considerar un conductor de origen, podemos seguir todo el devanado cerrándolo en el mismo conductor de origen.

El devanado será múltiple cuando el devanado se cierra dos (doble), tres (triple), cuatro, etc., veces.



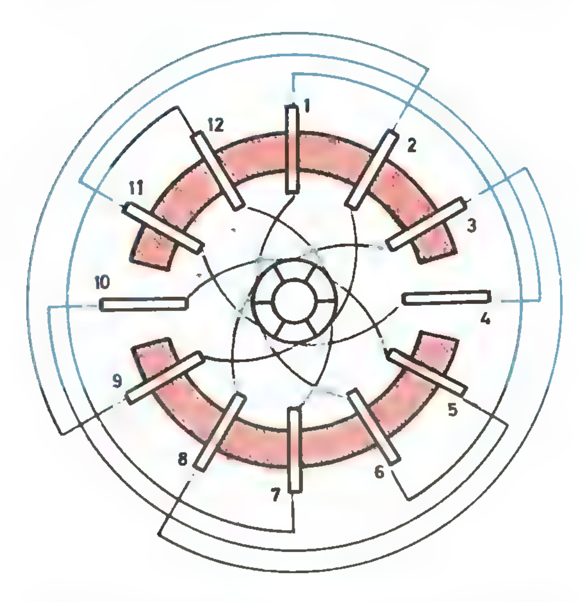
DEVANADO ONDULADO
El paso anterior y el paso posterior avanzan en el mismo sentido; el de las agujas del reloj o en sentido contrario. Paso anterior: + 5. Paso posterior: + 5.



DEVANADO IMBRICADO
El paso anterior y el paso posterior avanzan en sentido contrario. Paso anterior: — 7. Paso posterior: + 5.

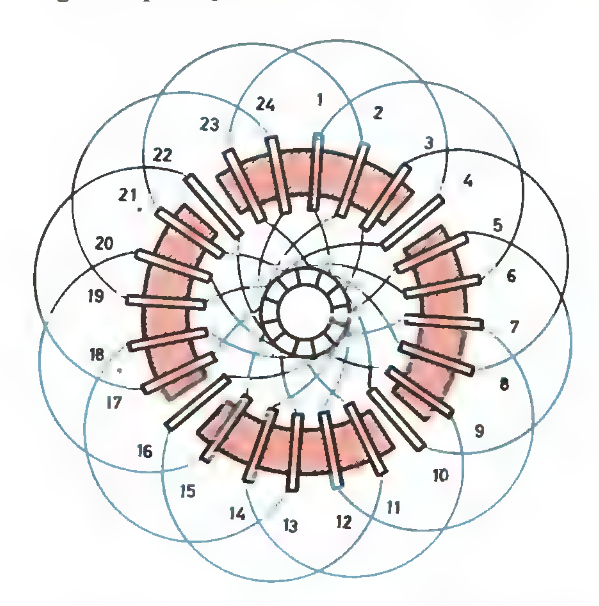
Vea ahora los dos gráficos donde se demuestra la naturaleza de ambos sistemas de arrollamiento.

Como resulta interesante familiarizarse con esquemas de este tipo y con los dos sistemas de arrollamiento, añadimos algunos ejemplos con el ruego de que siga el orden de las conexiones.



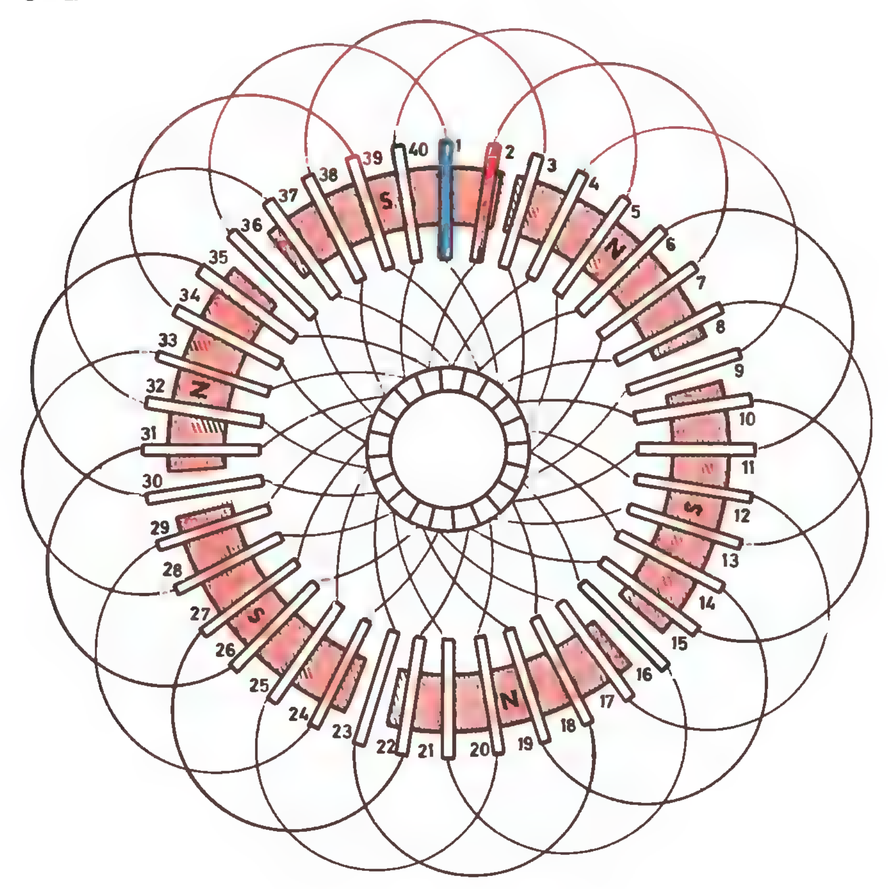
ARROLLAMIENTO ONDULADO SIMPLE PARA DINAMO BIPOLAR Y 12 CONDUCTORES ACTIVOS

Siga el arrollamiento empezando por el número 1 y en el sentido de la flecha. Después de recorrer todos los conductores encontrará de nuevo el número 1: 1 - 6 - 11 - 4 - 9 - 2 - 7 - 12 - 5 - 10 - 3 - 8 - 1.



ARROLLAMIENTO IMBRICADO SIMPLE PARA DINAMO TETRAPOLAR Y 24 CONDUCTORES ACTIVOS

Siguiendo el arrollamiento verá que obtiene el orden siguiente: 1 - 6 - 23 - 4 - 21 - 2 - 19 - 24 - 17 - 22 - 15 - 20 - 13 - 18 - 11 - 16 - 9 - 14 - 7 - 12 - 5 - 10 - 3 - 8 - 1.

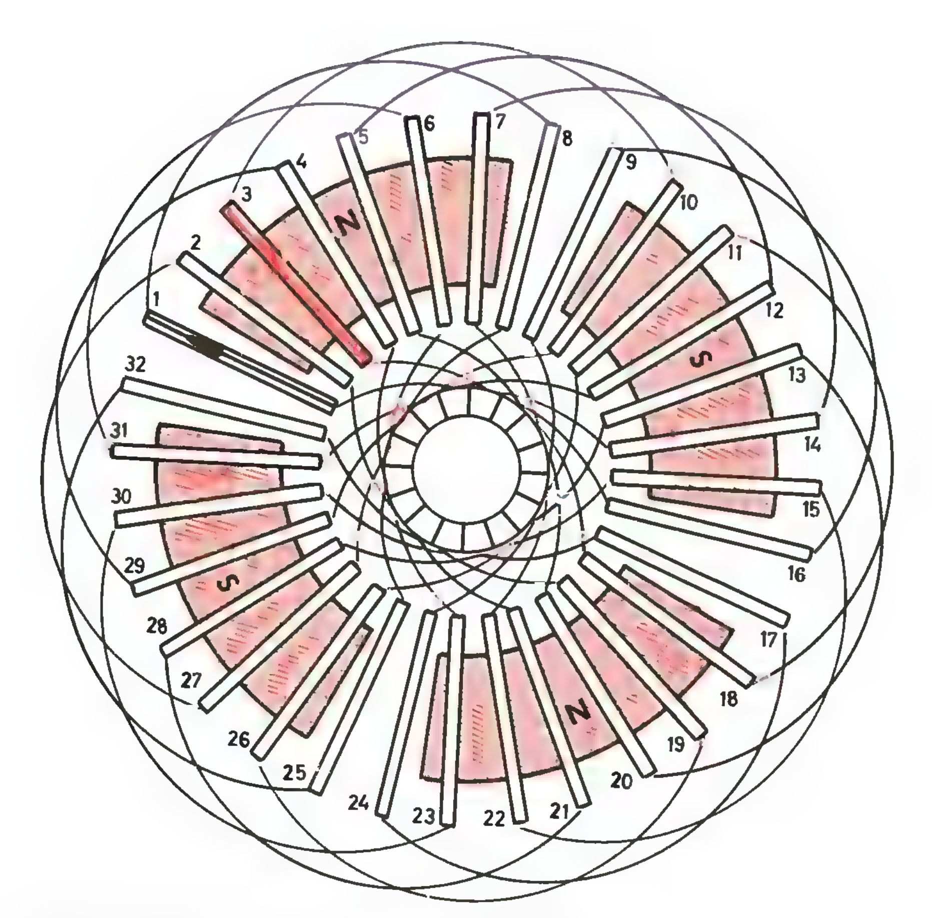


ARROLLAMIENTO ONDULADO DOBLE PARA DINAMO HEXAPOLAR Y 40 CONDUCTORES ACTIVOS.

Siga el arrollamiento empezando por el número 1; después de recorrer sólo la mitad de los conductores se le cierra el devanado. Empezando de nuevo por el número 2 recorrerá la otra mitad.

Primer devanado: 1 - 36 - 29 - 24 - 17 - 12 - 5 - 40 - 33 - 28 - 21 - 16 - 9 - 4 - 37 - 32 - 25 - 20 - 13 - 8 - 1.

Segundo devanado: 2 - 7 - 14 - 19 - 26 - 31 - 38 - 3 - 10 - 15 - 22 - 27 - 34 - 39 - 6 - 11 - 18 - 23 - 30 - 35 - 2.



ARROLLAMIENTO IMBRICADO DOBLE PARA DINAMO TETRAPOLAR Y 32 CONDUCTORES ACTIVOS
Siga el devanado empezando por el número 1 y se le cerrará despnés de recorrer la mitad de los conductores. Empezando de nuevo por el número 3 recorrerá la otra mitad.
Primer devanado: 1 - 8 - 29 - 4 - 25 - 32 - 21 - 28 - 17 - 24 - 13 - 20 - 9 - 16 - 5 - 12 - 1.
Segundo devanado: 3 - 10 - 31 - 6 - 27 - 2 - 23 - 30 - 19 - 26 - 15 - 22 - 11 - 18 - 7 - 14 - 3.

SITUACION DE LAS ESCOBILLAS

Después de aprender que existen dos tipos de devanados — ondulado e imbricado — y que ambos pueden ser simples o múltiples, debemos seguir adelante con una cuestión muy importante: saber sobre qué delgas deberemos situar una escobilla.

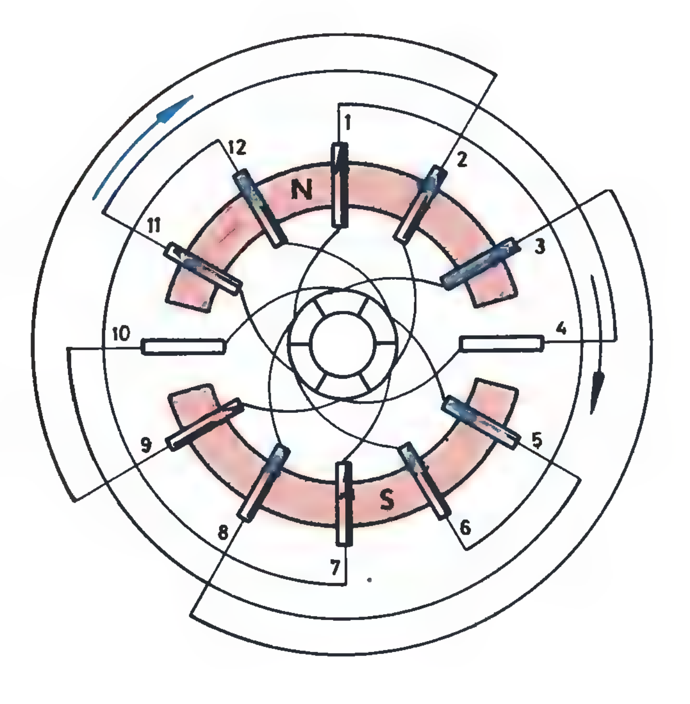
En los arrollamientos que llevamos dibujados no hemos indicado nada sobre la situación de las escobillas. ¿Dónde las situaremos?

La respuesta es: *situaremos una escobilla en aquellas delgas donde coinciden dos conductores con corrientes convergentes o divergentes a la delga considerada.*

Reproducimos el primero de los devanados que hemos dibujado para ver, en la dínamo a que corresponde, sobre qué delgas debemos situar una escobilla.

Vea cómo debe proceder:

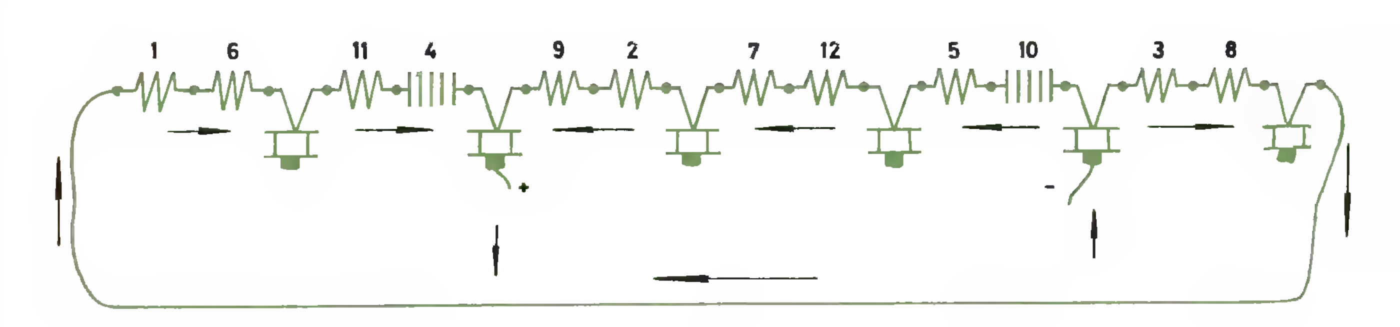
1. Con una flecha se indica el sentido de la corriente inducida en cada uno de los conductores sometidos a la acción de los polos. De momento no sabemos qué sentido tiene la corriente en los conductores situados en la línea neutra.
2. Empezamos a recorrer el devanado partien-



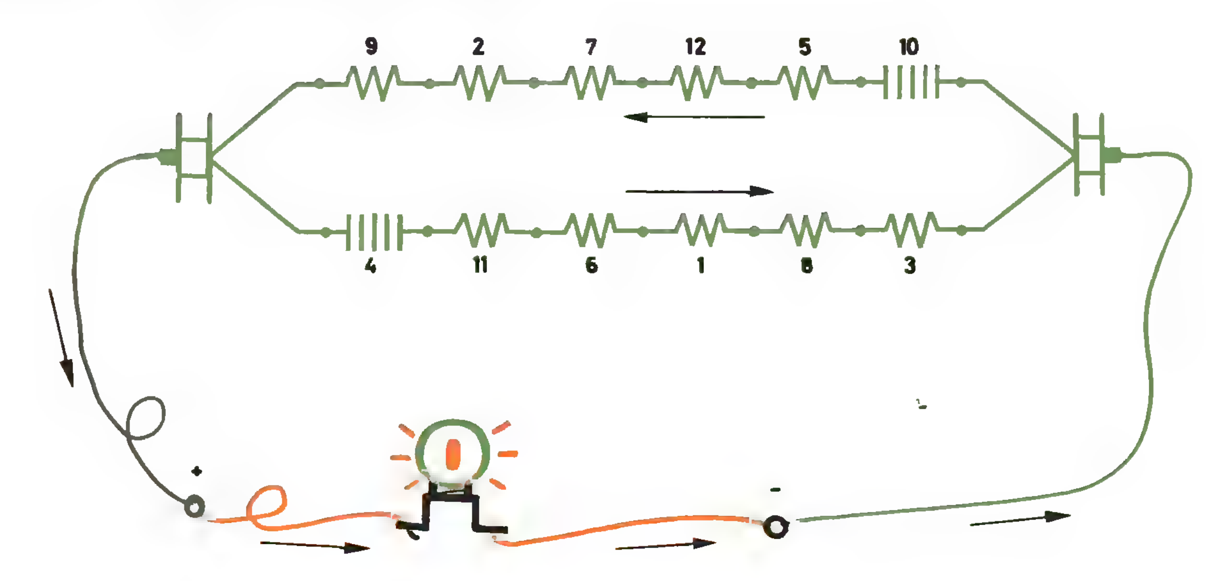
do de un conductor cualquiera; el número 1, por ejemplo. Representaremos cada conductor activo con el símbolo de resistencia; y cada delga con un pequeño rectángulo con los lados horizontales algo prolongados.

Hasta aquí las corrientes de los conductores 1-6-11 se suman. El sentido es siempre el mismo. Pero, siguiendo el devanado, veremos que el conductor 11 enlaza con el 4 (neutro) y éste con el 9. En este último conductor la corriente tiene con signo contrario. Luego, en la delga que une el conductor 4 con el 9 deberemos colocar una escobilla: en dicha escobilla tendremos el polo +, toda vez que la corriente *sale*.

Siga recorriendo el arrollamiento y observará que la corriente no cambia de sentido hasta el conductor 3. Entre 10 y 3 tendremos una delga donde coinciden dos corriente divergentes. Por lo tanto, esta delga requiere la otra escobilla. Será el polo —, puesto que la corriente *entra*.



Este esquema puede disponerse en dos ramas en paralelo, a cada una de las cuales daremos el nombre de CIRCUITO DERIVADO. El devanado que

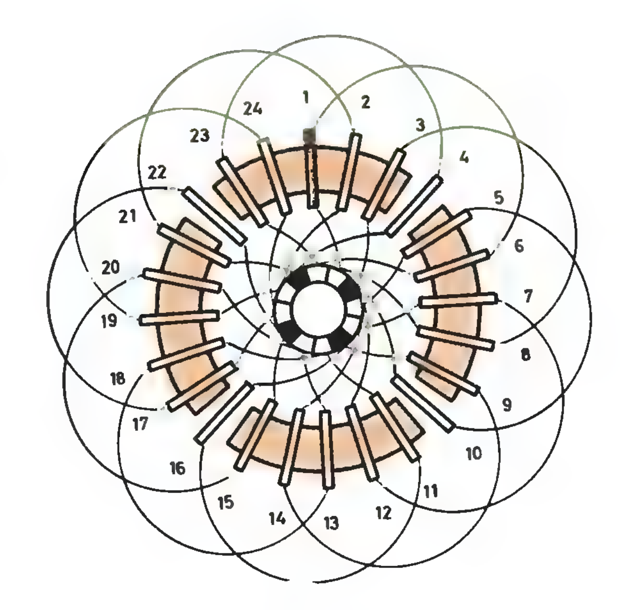


nos ha servido de ejemplo tiene dos circuitos derivados.

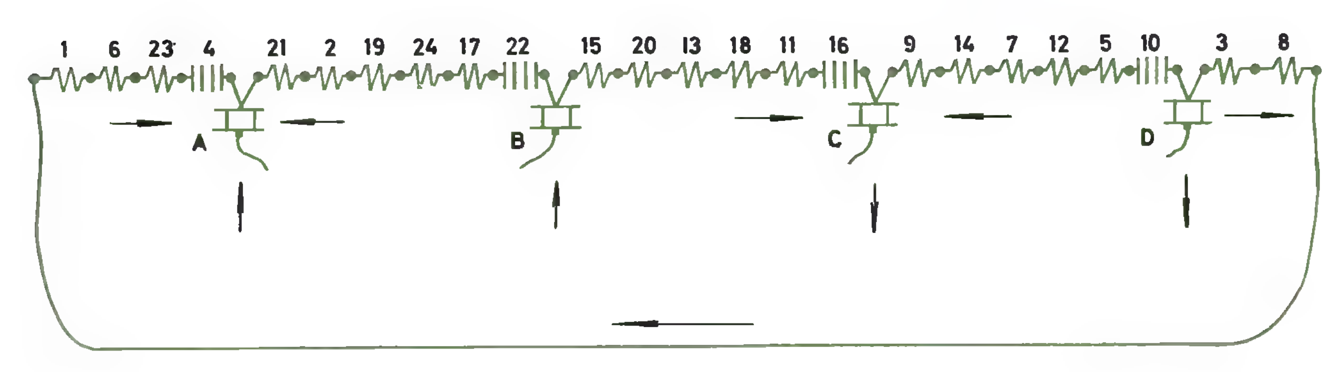
Desarrollemos el mismo trabajo, pero con el ejemplo de arrollamiento imbricado para dínamo tetrapolar y 24 conductores activos que hemos visto anteriormente. Vea el esquema circular de dicho devanado y siga el mismo proceso que acabamos de estudiar.

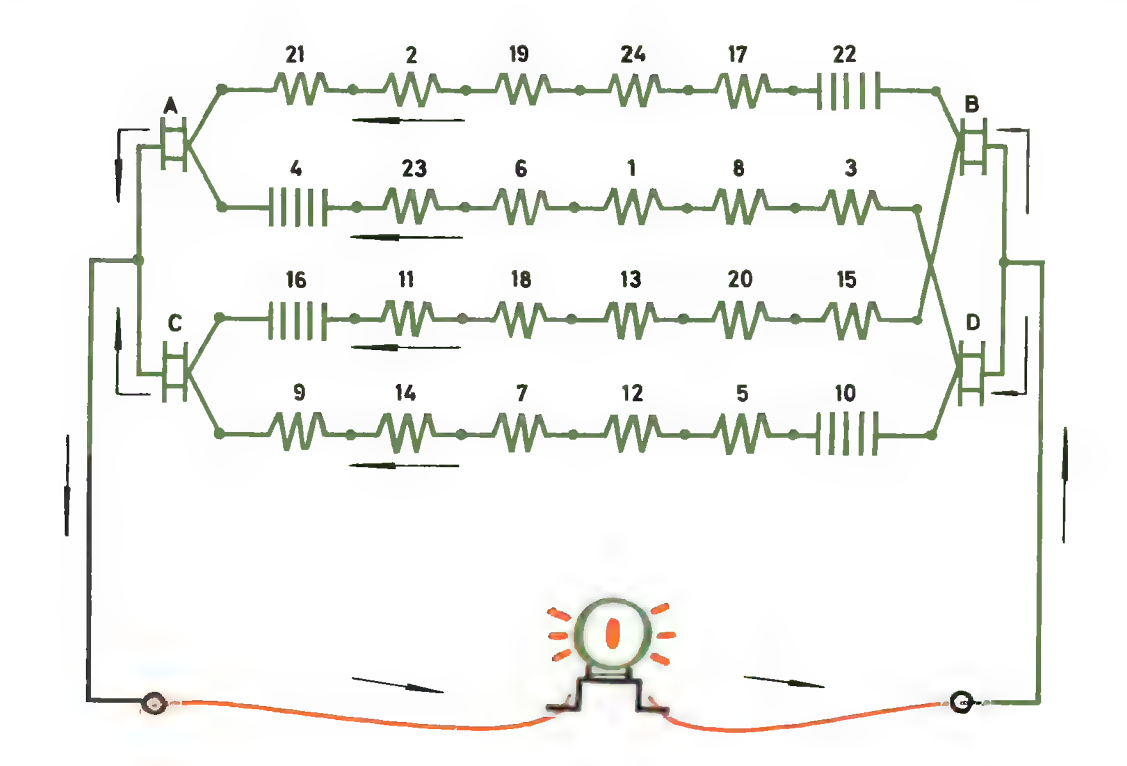
Llegará a la conclusión de que se trata de una dínamo con cuatro circuitos derivados.

Observe que excepto las delgas A, B, C y D, señaladas en el esquema circular, las demás sólo sirven para enlazar conductores.



Devanado imbricado con cuatro circuitos derivados y cuatro escobillas unidas dos a dos.





ARROLLAMIENTOS ONDULADOS

A) ARROLLAMIENTO SERIE SIMPLE

Será un devanado ondulado simple con sólo dos circuitos e independientemente del número de polos de la dínamo.

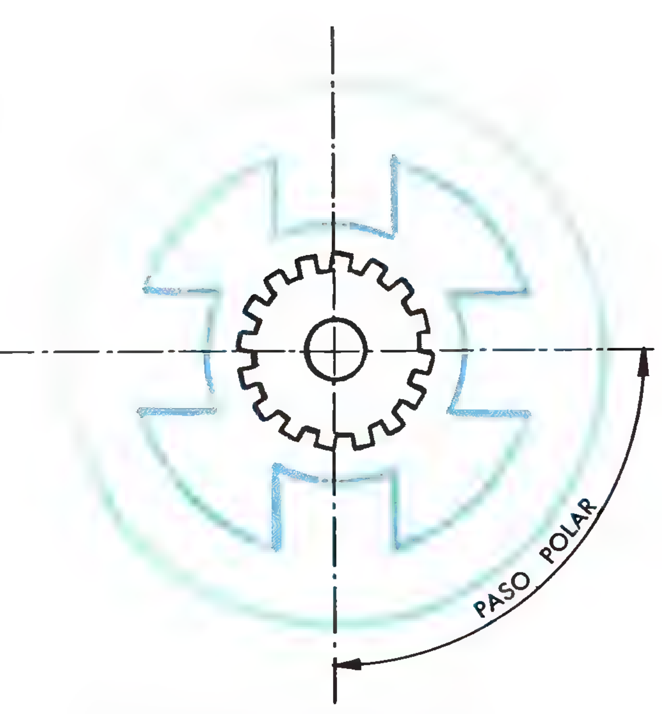
La fórmula que define estos arrollamientos es ésta:

$$y_1 + y_2 = \frac{N \pm 2}{\frac{P}{2}}$$

Las letras de la fórmula representan lo siguiente:

y_1 = paso anterior;
y_2 = paso posterior;
N = número de conductores;
P = número de polos del inductor.

Los pasos y_1 e y_2 pueden ser iguales o diferentes, pero deben ser *siempre* dos números impares y, además, de valor próximo al número de conductores comprendido en un paso polar. Vea la figura, donde se representa lo que es un paso polar.



Paso polar de una dinamo tetrapolar

EJEMPLO DE ARROLLAMIENTO SERIE SIMPLE

Plantear un arrollamiento serie simple para una dínamo bipolar con 12 conductores.

Número de conductores en un paso polar:

$$n = \frac{12}{2} = 6 \text{ conductores}$$

Aplicando la fórmula de estos arrollamientos, tendremos:

$$y_1 + y_2 = \frac{N \pm 2}{\frac{P}{2}} = \frac{12 \pm 2}{\frac{2}{2}} =$$

$$= \frac{12 \pm 2}{1} = 12 \pm 2$$

O sea, que $y_1 + y_2$ puede ser igual a 14 (que son 12 + 2) o puede ser igual a 10 (que son 12 — 2).

Suponiendo los dos pasos iguales, podría ser $y_1 = 5$ e $y_2 = 5$, o bien $y_1 = 7$ e $y_2 = 7$, ambos valores próximos a 6, que es el número de conductores comprendido en el paso polar.

En el primer caso tendríamos el primero de los arrollamientos que hemos visto; y en el segundo, el arrollamiento de la figura siguiente:



Arrollamiento serie simple para dínamo bipolar de 12 conductores con paso $y_1 = 7$; e $y_2 = 7$.

El número de ranuras a practicar en el tambor del inducido para arrollamientos ondulados serie simples, con más de dos polos (cuatro, seis, ocho, etcétera), nunca debe ser un múltiplo del número de polos.

Así, para dínamos tetrapolares, el número de ranuras puede ser:

2, 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, etc.

Observe que se han suprimido los múltiplos de 4, que es el número de polos.

Para dínamos hexapolares, el número de ranuras puede ser 4, 8, 10, 14, 16, 20, 22, 26, 28, 32, 34, 38, etc. Se han quitado los múltiplos de seis.

En fin; este detalle es siempre el mismo: no contar con un número de ranuras que sea múltiplo del número de polos.

De la fórmula general de los devanados que tratamos podemos deducir la correspondiente al número de conductores:

$$N = \frac{P}{2}(y_1 + y_2) \pm 2$$

Esta fórmula permite solucionar problemas de este tipo:

Proyectar un devanado ondulado serie simple, para dínamo tetrapolar de 30 a 40 conductores.

Conductores en un paso polar:

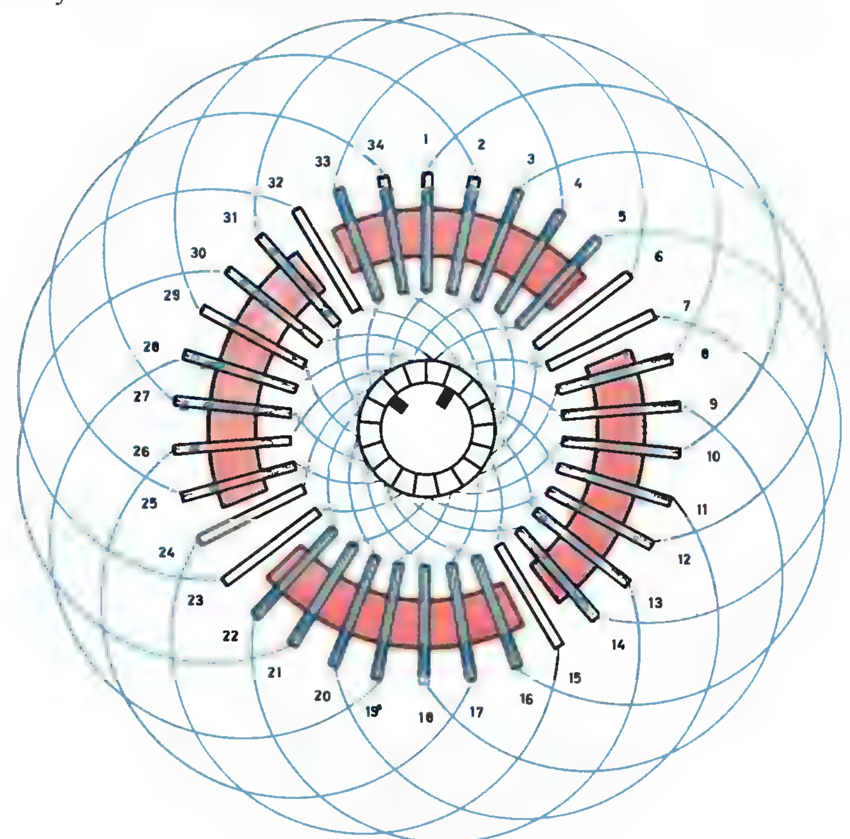
$$\frac{30}{4} = 7; \quad \frac{40}{4} = 10$$

El número de conductores abarcados por un paso polar estará comprendido entre 7 y 10. Podemos determinar que sean 9 los pasos anterior y posterior.

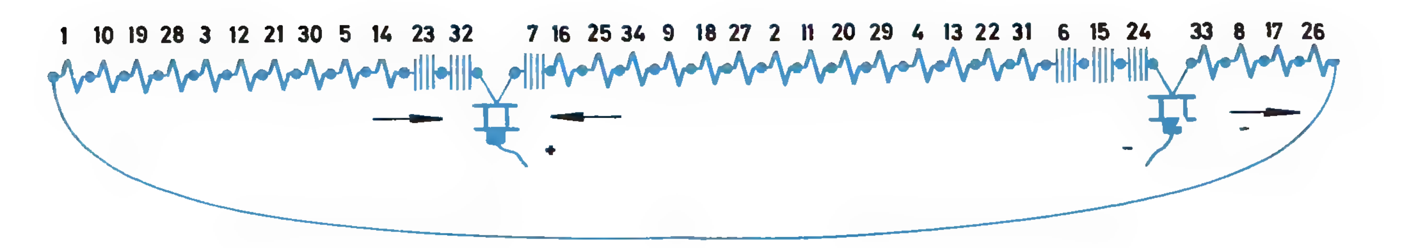
$$y_1 = 9 \text{ e } y_2 = 9$$

$$N = \frac{4}{2}(9 + 9) \pm 2 = \begin{cases} 38 \text{ conductores} \\ 34 \text{ conductores} \end{cases}$$

Cualquiera de los dos números es válido.



Devanado ondulado serie simple y 34 conductores activos con pasos $y_1 = 9$ e $y_2 = 9$.



B) Devanado ondulado serie múltiple

Estos devanados se calculan considerando que están formados por varios ondulados simples. Por tanto, se utiliza la misma fórmula.

Veamos unos ejemplos:

I. Calcular un devanado ondulado serie doble con unas 25 ranuras para dínamo tetrapolar.

El número de ranuras (unas 25) nos dice que, calculando el devanado ondulado serie doble como si se tratase de dos serie simples, debemos contar con unas 12 ranuras por parte.

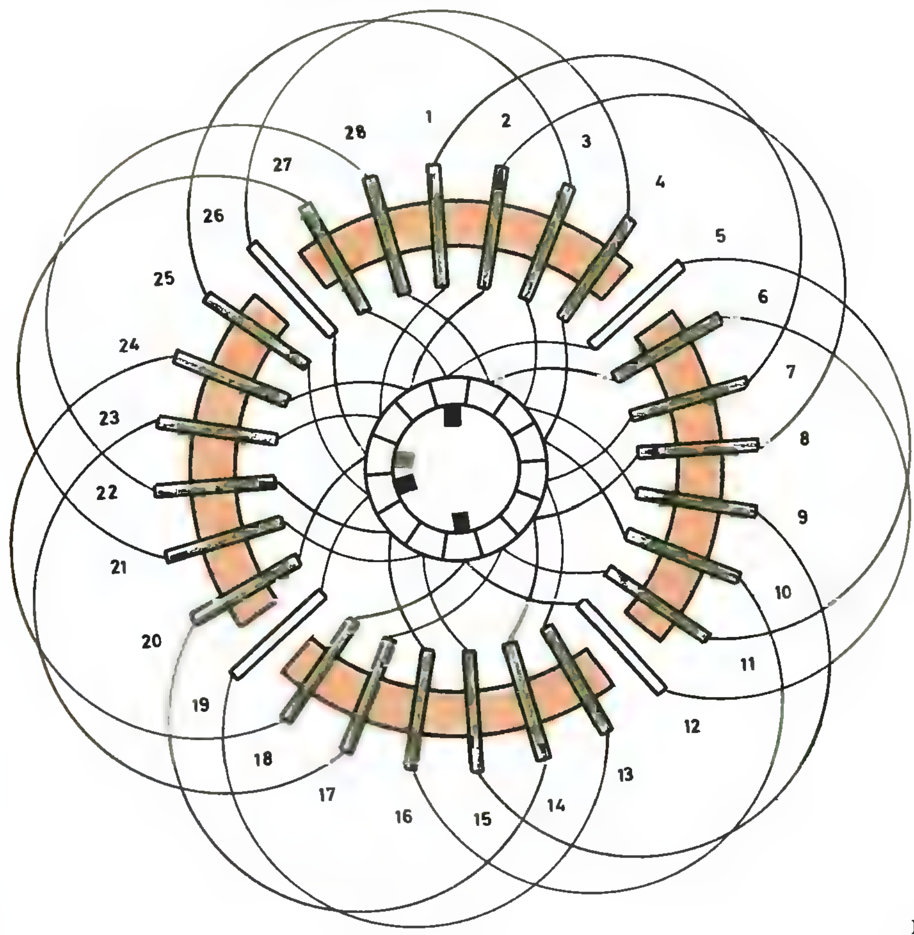
$$\text{Conductores por paso polar} = \frac{12}{4} = 3$$

Podemos tomar $y_1 = 3$ e $y_2 = 3$

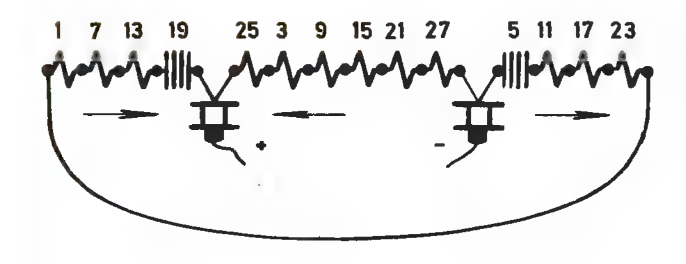
Luego:

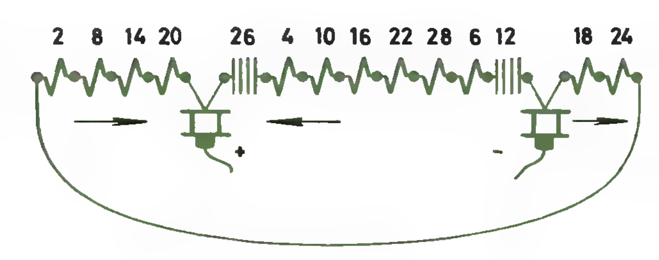
$$N = \frac{4}{2}(3+3) \pm = \begin{cases} 14 \text{ conductores} \\ 10 \text{ conductores} \end{cases}$$

Tomemos, por ejemplo, 14 conductores por cada una de las dos partes del devanado doble. En total serán 28 conductores y pasos $y_1 = 6$ e $y_2 = 6$.



Devanado ondulado serie múltiple. 28 conductores activos y pasos $y_1 = 6$ e $y_2 = 6$.





II. Calcular un devanado ondulado serie triple para dínamo tetrapolar con unos 50 conductores.

Con 50 conductores (aproximadamente), corresponderán también con aproximación:

$$N = \frac{50}{3} \sim 16 \text{ conductores por parte}$$

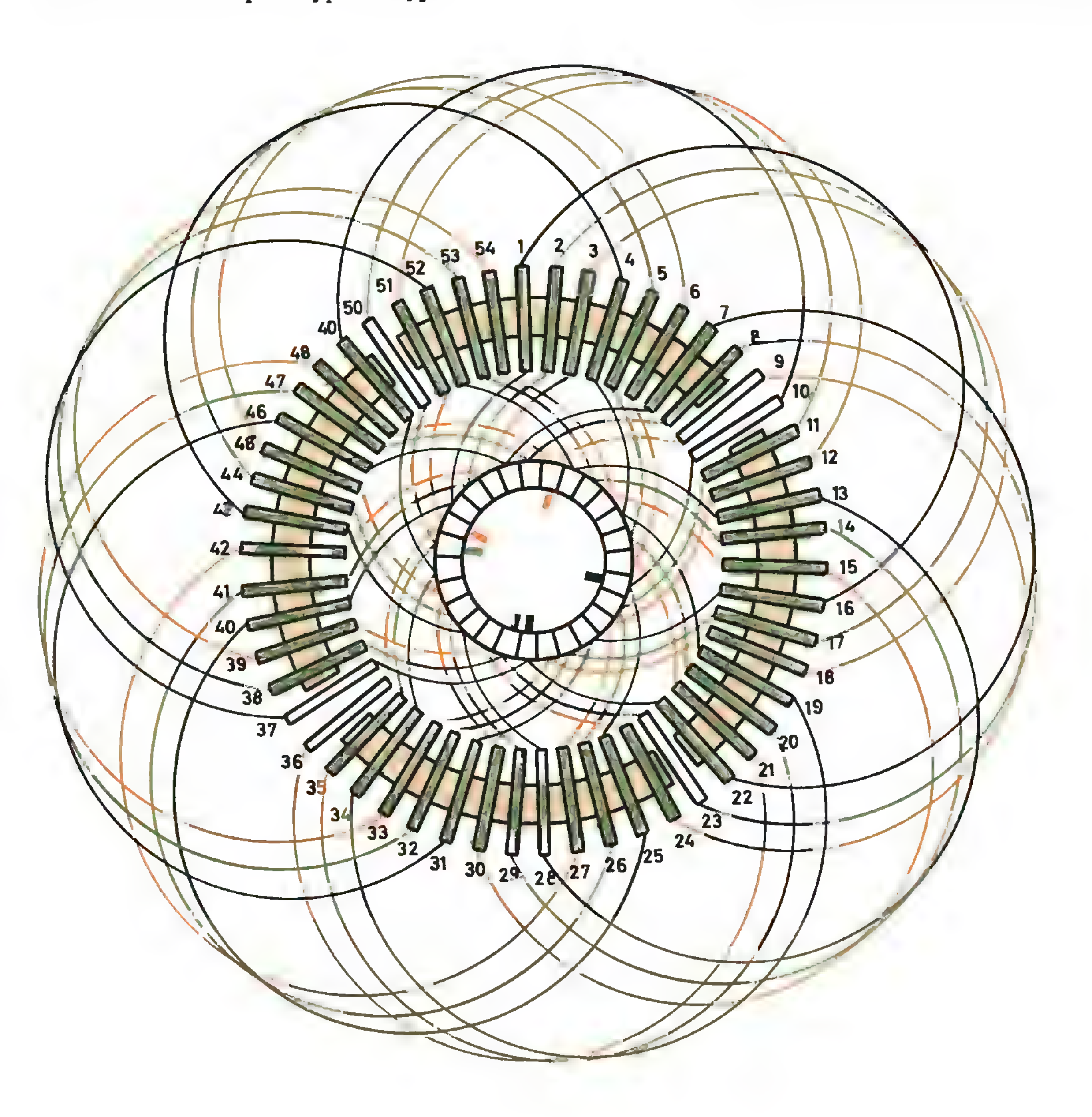
$$\text{Conductores por paso polar} = \frac{16}{4} = 4$$

Podemos tomar pasos $y_1 = 5$ e $y_2 = 5$

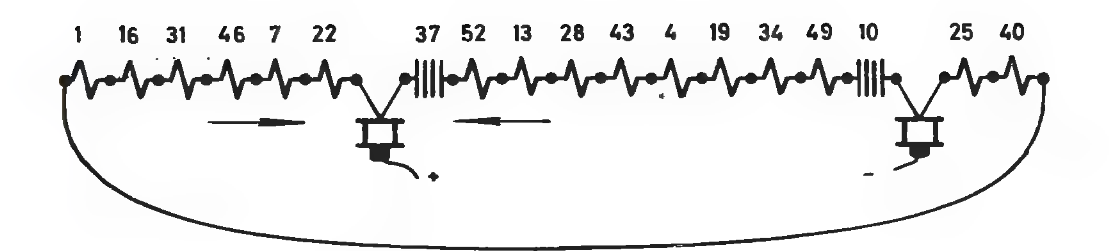
$$N = \frac{4}{2}(5 + 5) \pm 2 = \begin{cases} 22 \text{ conductores} \\ 18 \text{ conductores} \end{cases}$$

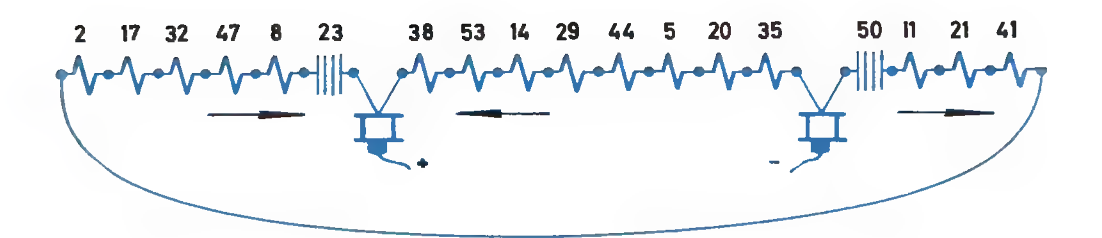
Tomaremos 18 conductores por parte, lo que totaliza 54 conductores ($18 \times 3 = 54$). Los pasos serán:

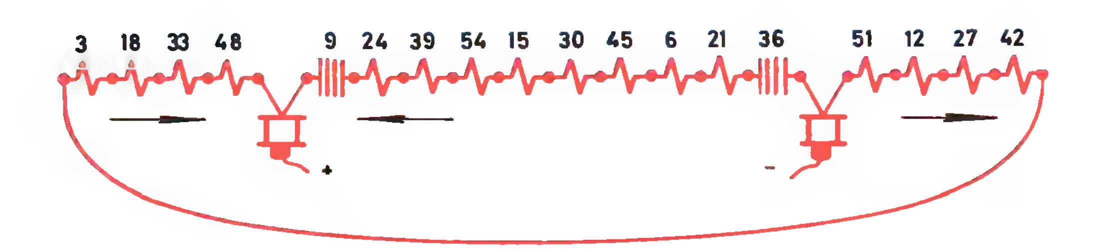
$$y_1 = 3 \times 5 = 15; \; y_2 = 3 \times 5 = 15$$



Devanado ondulado serie triple para dínamo tetrapolar y 54 conductores. Pasos: $y_1 = 15$ e $y_2 = 15$.







ARROLLAMIENTOS SERIE-PARALELO

En honor de su inventor son llamados arrollamientos de Arnold. Se caracterizan por tener varios circuitos derivados.

Los arrollamientos Arnold pueden ser simples y múltiples. Estudiémoslos:

A. Devanado Arnold simple

La fórmula para estos devanados es la siguiente:

$$y_1 + y_2 = \frac{N \pm C}{\frac{P}{2}}$$

La letra C representa el número de circuitos derivados, número que debe ser *siempre* un número par.

De la fórmula anterior deduciremos la del número de conductores:

$$N = \frac{P}{2} (y_1 + y_2) \pm C$$

Ejemplos

I. Devanado Arnold simple para dínamo tetrapolar con unos 25 conductores y cuatro circuitos derivados.

Conductores por paso polar:

$$\frac{25}{4} = 6$$

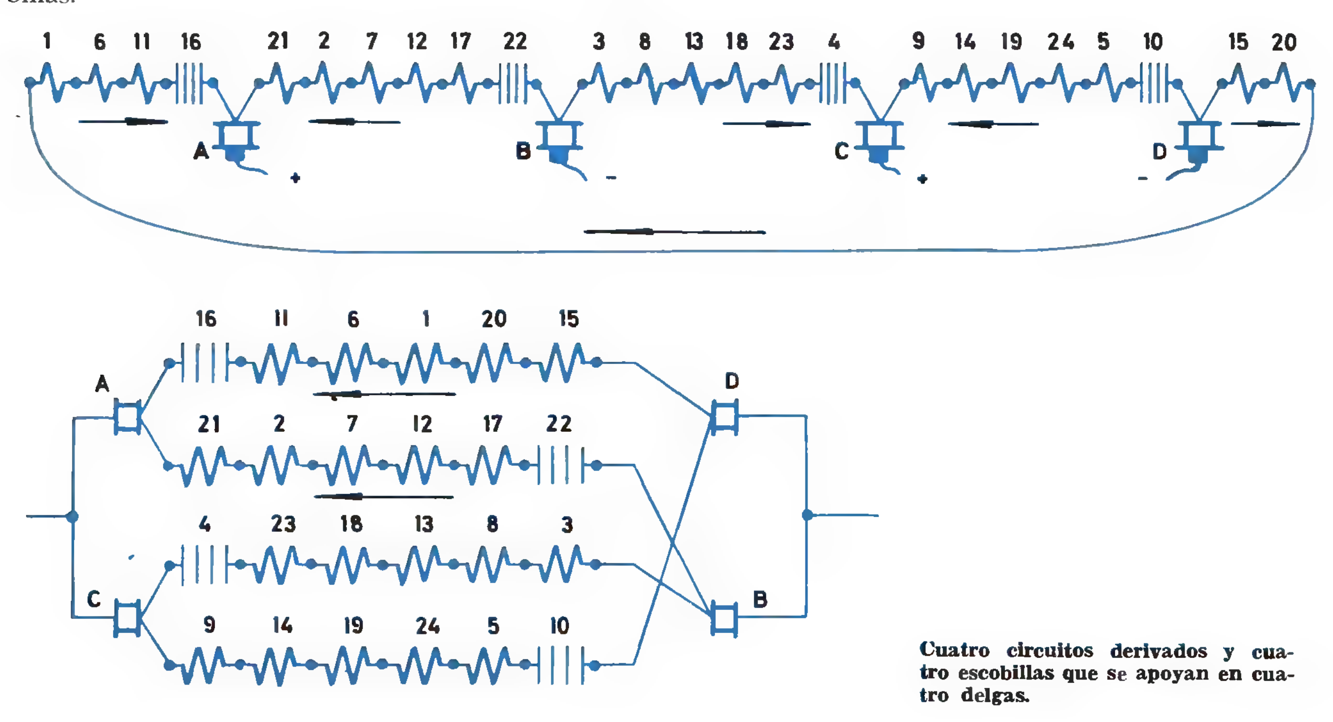
Podemos tomar $y_1 = 5$ e $y_2 = 5$

$$N = \frac{4}{2} (5 + 5) \pm 4 = \begin{cases} 24 \\ 16 \end{cases}$$

Tomemos, en nuestro ejemplo, 24 conductores.

Devanado Arnold simple para dínamos tetrapolar de 24 conductores. Pasos: $y_1 = 5$ e $y_2 = 5$.

Veamos ahora dónde deberán situarse las escobillas.



Cuatro circuitos derivados y cuatro escobillas que se apoyan en cuatro delgas.

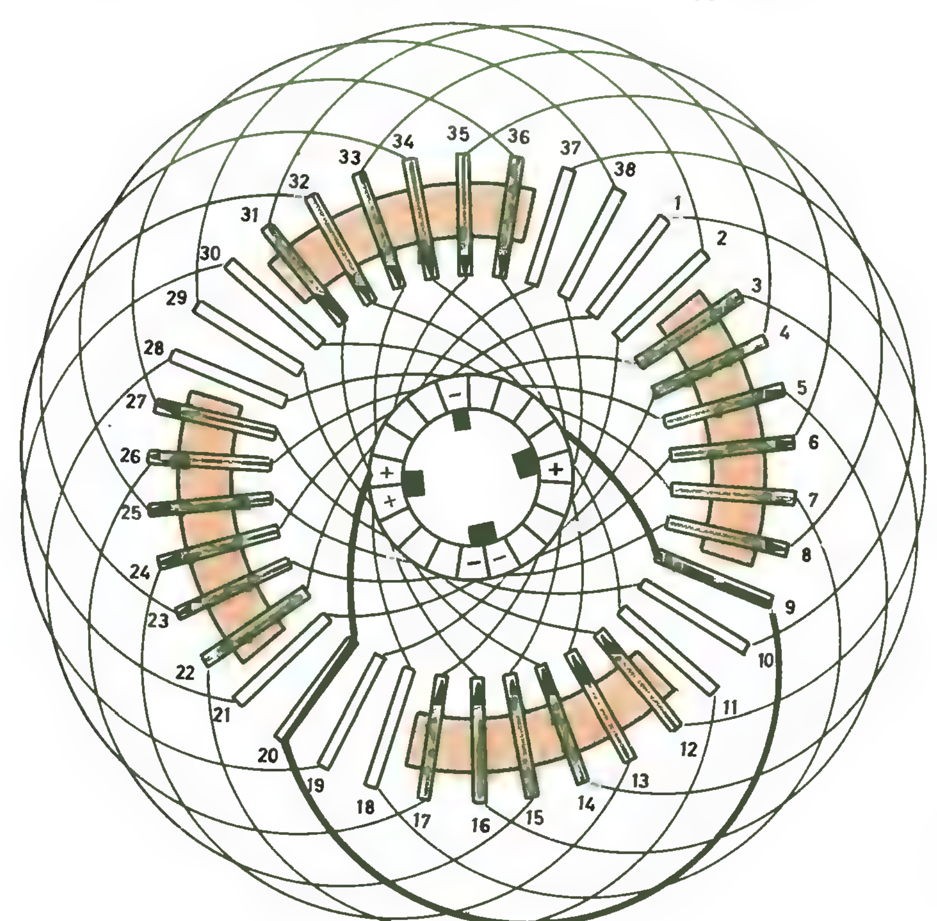
II. Devanado Arnold simple para dínamo tetrapolar con seis circuitos derivados y un número aproximado de 40 conductores.

$$\text{Conductores por paso} = \frac{40}{4} = 10$$

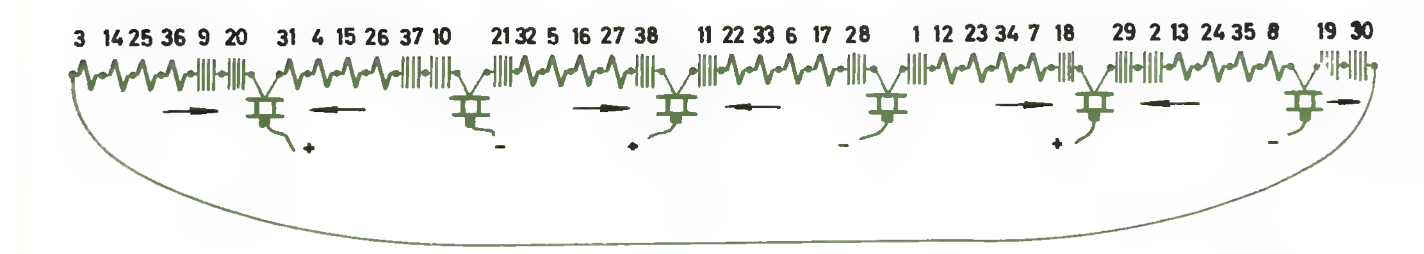
Tomamos pasos $y_1 = 11$ e $y_2 = 11$

$$N = \frac{4}{2}(11 + 11) \pm 6 = \begin{cases} 50 \\ 38 \end{cases}$$

Vamos a dibujar el esquema sobre la base de 38 conductores.



Devanado Arnold simple para dínamo tetrapolar de $N = 38$ y pasos $y_1 = 11$ e $y_2 = 11$.



Estudie la situación de las escobillas que aparece en la figura precedente.

Como puede ver por el dibujo, hay seis escobillas que determinan seis circuitos derivados. Al situarlas sobre el colector (vea el esquema circular) vemos que las escobillas 20 — 31 y 18 — 29 quedan contiguas. Ello nos permite colocar una sola escobilla que *pise* al mismo tiempo las dos delgas. También la escobilla 11 — 38 puede abarcar la contigua. Observe que los conductores 20 y 9, situados en la zona neutra, quedan en cortocircuito; no crean corriente.

Las escobillas 8 — 19 y 21 — 10, correspondientes a delgas negativas, son también contiguas.

En definitiva: la dínamo propuesta puede funcionar con cuatro escobillas.

DEVANADOS ARNOLD MULTIPLES

Estos devanados deben cumplir con unas condiciones muy especiales que dificultan considerablemente su planteo y realización. Veamos cuáles son estas condiciones:

1. Todo devanado debe tener un número par de conductores y siendo un devanado múltiple la superposición de varios devanados simples. Antes de recorrer todos los conductores cerramos dos, tres, cuatro, cinco, etc., veces el devanado. Por tanto, la mitad $(\frac{N}{2})$; el tercio $(\frac{N}{3})$, el cuarto $(\frac{N}{4})$, etc., del número de conductores debe ser un número par.

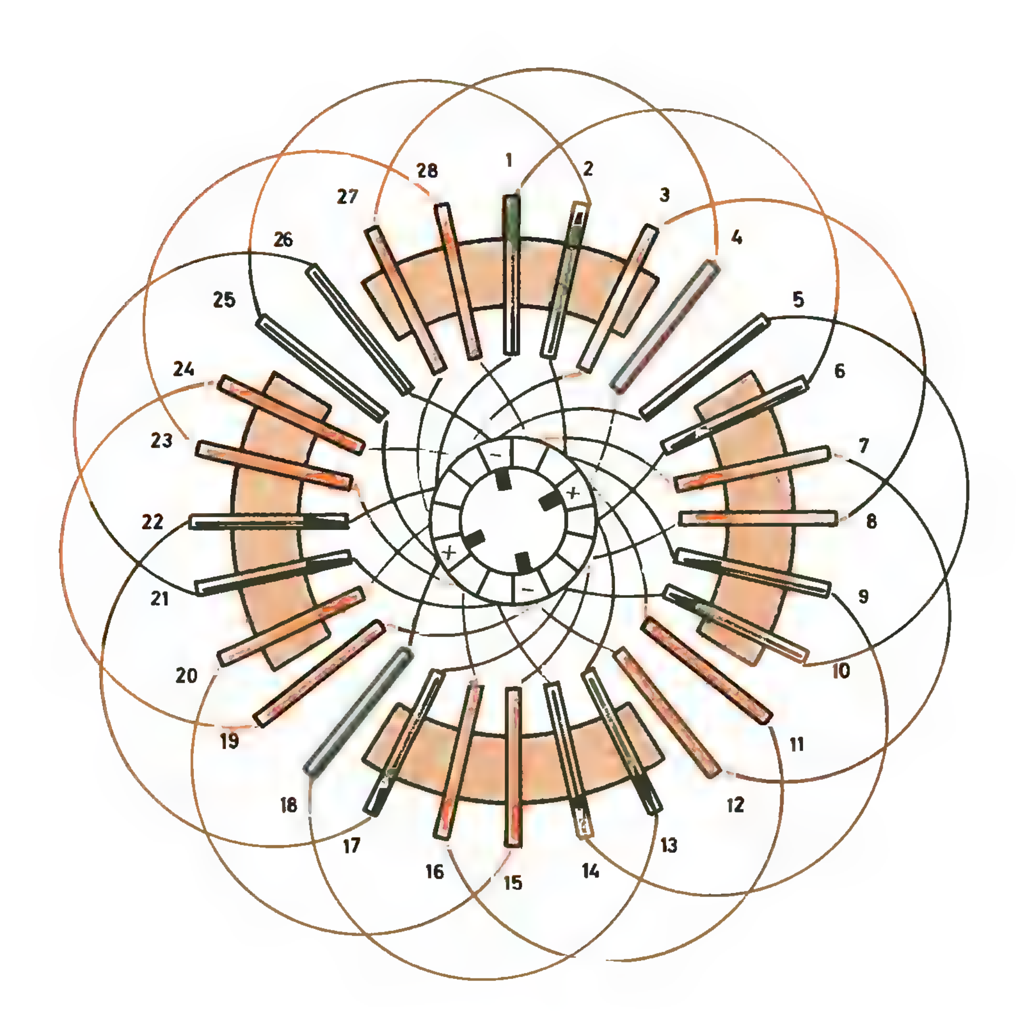
2. Es la más importante. La mitad de la suma de los pasos $(\frac{y_1 + y_2}{2})$ y la mitad del número de conductores $(\frac{N}{2})$ han de tener por máximo común divisor el número 2, 3, 4, 5, etc., según se trate de un devanado doble, triple, cuádruple, quíntuple, etc.

3. Debe cumplirse la fórmula general del número de conductores:

$$N = \frac{P}{2} (y_1 + y_2) \pm C$$

EJEMPLOS

I. Devanado Arnold doble para unos 30 conductores, cuatro circuitos derivados y dínamo tetrapolar.



Devanado Arnold doble para dínamo tetrapolar de $N = 28$ y pasos $y_1 = 7$ e $y_2 = 5$.

Conductores por paso polar:

$$\frac{30}{4} \sim 7$$

Tomaremos pasos $y_1 = 7$ e $y_2 = 5$

$$N = \frac{4}{2}(7 + 5) \pm 4 = \begin{cases} 28 \\ 20 \end{cases}$$

Supongamos 28 conductores. ¿Cumplirá el devanado con las condiciones estipuladas?

1. Como es un devanado doble, debe ser:

$$\frac{N}{2} = \text{número par.} \qquad \frac{28}{2} = 14$$

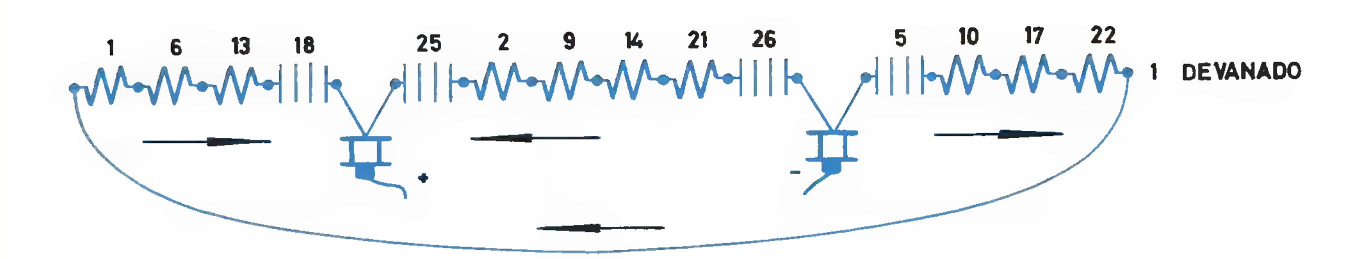
Cumple la primera condición.

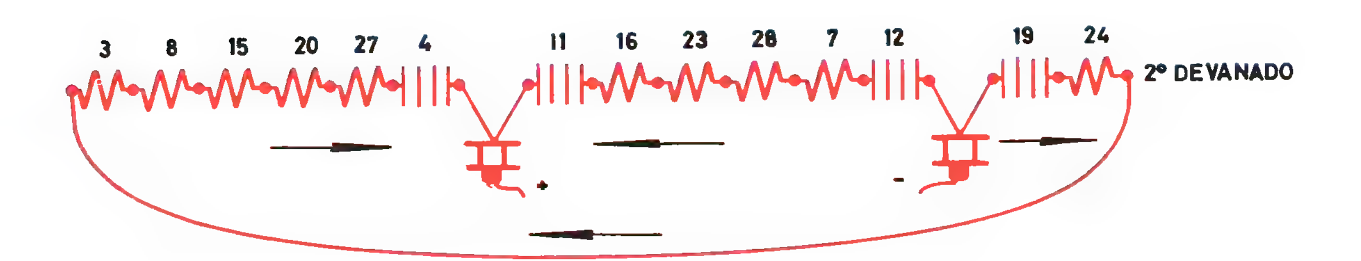
2. El m.c.d. de $\frac{y_1 + y_2}{2}$ y de $\frac{N}{2}$ debe ser 2.

$$\left. \begin{array}{l} 14 = 2 \times 7 \\ 6 = 2 \times 3 \end{array} \right\} \text{M.c.d.} = 2$$

Cumple también la segunda condición.

Deduciremos la situación de las escobillas desarrollando independientemente los dos devanados.





II. Devanado Arnold triple para dínamo tetrapolar de unos 30 conductores y seis circuitos derivados.

Conductores por paso polar $= \frac{30}{4} \sim 7$

Tomemos pasos $y_1 = 9$ e $y_2 = 9$.

$$N = \frac{4}{2}(9 + 9) \pm 6 = \begin{cases} 42 \\ 30 \end{cases}$$

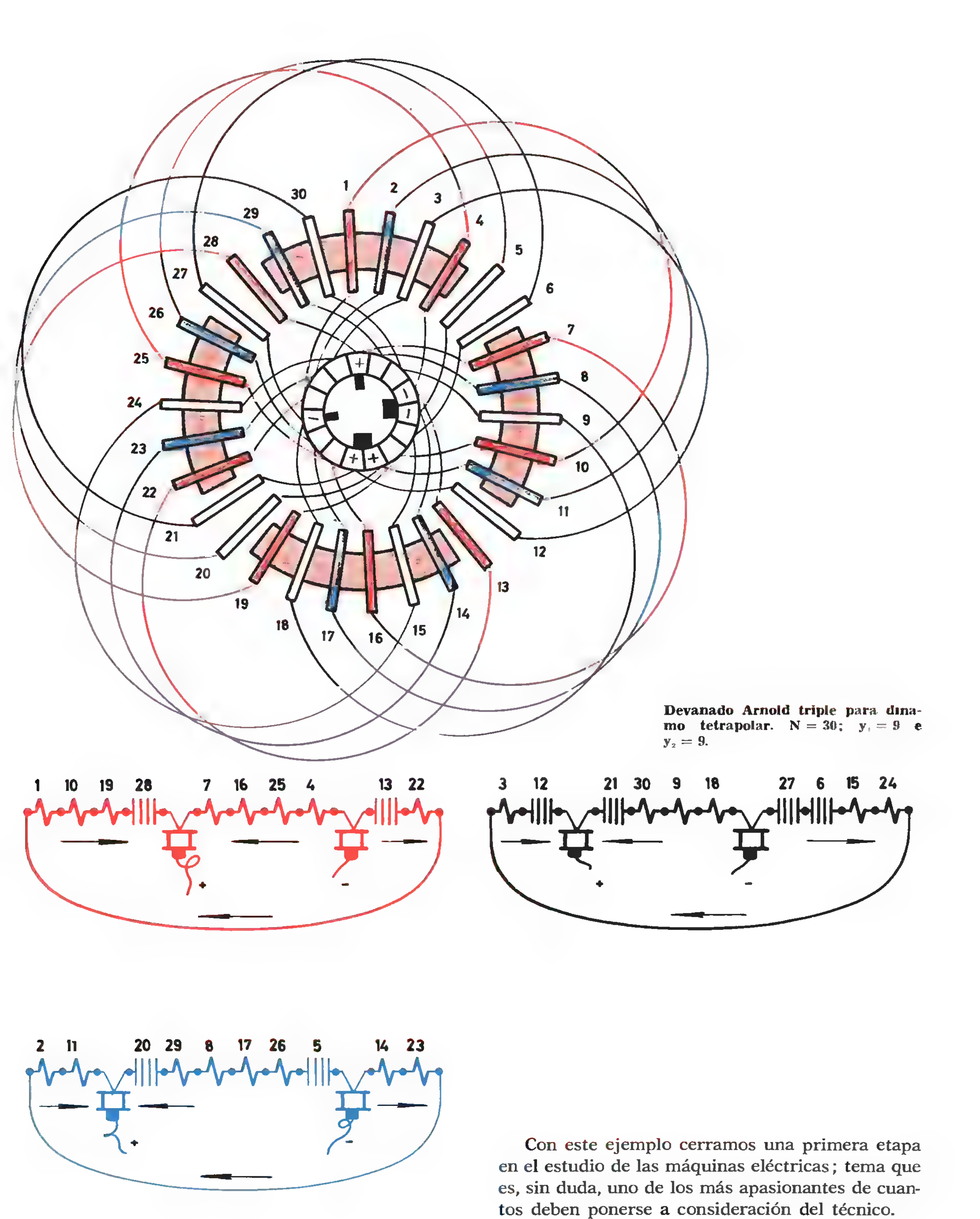
De acuerdo con el enunciado deberemos considerar 30 conductores, siempre que se cumplan las condiciones imprescindibles. Veámoslo:

1. Es un devanado triple y $\frac{30}{3} = 10$, lo que es número par.

2. $\frac{y_1 + y_2}{2} = \frac{9 + 9}{2} = 9; \quad \frac{N}{2} = \frac{30}{2} = 15$

$$\left. \begin{array}{l} 9 = 3 \times 3 \\ 15 = 3 \times 5 \end{array} \right\} \text{M.c.d.} = 3 \text{ (devanado triple)}$$

Se cumplen las condiciones. Podemos dibujar el esquema y estudiar la posición de las escobillas.



Devanado Arnold triple para dinamo tetrapolar. N = 30; $y_1 = 9$ e $y_2 = 9$.

Con este ejemplo cerramos una primera etapa en el estudio de las máquinas eléctricas; tema que es, sin duda, uno de los más apasionantes de cuantos deben ponerse a consideración del técnico.

instalaciones 17

Instalaciones industriales
Elementos de protección
Tubos y cajas

En la lección 6, al hablar de las instalaciones domésticas, vimos cómo, en la mayoría de los casos, se practicaban con conductores al aire, en las distintas modalidades allí explicadas; o bien bajo tubo Bergmann en la mayoría de los casos que requerían una mayor protección.

En las instalaciones industriales este campo queda ampliado, como veremos más adelante, tanto en la variedad de conductores a emplear como en los tubos o sistemas de protección para los mismos. Se utilizan tubos de acero, de caucho, de hierro emplomado, etc.

TUBOS DE ACERO

Son los más generalizados en los casos que requieren una instalación con gran potencia mecánica para los conductores, protección que no asegura el empleo de tubos Bergmann o similares. Como su denominación indica, estos tubos están formados por una tira de acero curvada en forma de tubo con su costura soldada; o bien por un tubo de acero sin soldadura obtenido por estirado del material. Las medidas, en cuanto a diámetro interior, son las mismas que se adoptan para los tubos Bergmann, al igual que sus longitudes. O sea: 9, 11, 13, 16, 23 y 29 mm de diámetro, por una longitud de 3 metros en todos ellos.

La gran rigidez de este tubo, así como su gran resistencia a los golpes, le hace insustituible en las instalaciones para máquinas herramientas en las que el tubo aislante queda expuesto a golpes y a esfuerzos mecánicos en general. Asimismo es muy indicado en aquellos casos en que el medio ambiente expondría a los conductores a la acción de la humedad. Los tubos de acero permiten cumplir con las precauciones y reglas que citaremos más adelante.

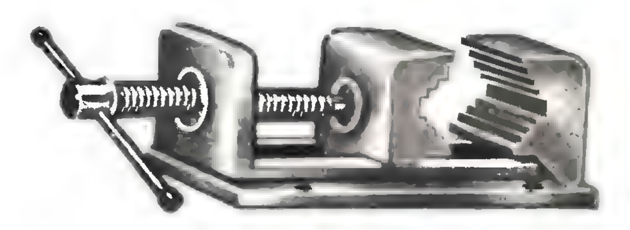
Los tubos de acero pueden montarse vistos o empotrados; sus uniones se efectúan por medio de manguitos roscados interiormente. En consecuencia, los extremos de los tubos a unir deben llevar rosca exterior.

Como puede intuir, la instalación de tubos de acero resulta mucho más cara y difícil que la instalación del tubo Bergmann, pues mientras que el corte de aquél se realiza con una simple navaja, aquí necesitamos disponer de un tornillo de cadena con mordaza especial para amarrre del tubo. Este tornillo suele estar montado en un banco portátil; a falta de este tornillo puede recurrirse a emplear un vulgar tornillo de banco dotado de mordaza para tubo. En cualquier caso, una vez fijados en el banco se cortan los tubos a las longitudes deseadas utilizando una sierra de arco. El canto del tubo debe limarse para obtener una su-



Banco o mordaza de amarre para serrar y roscar tubos de acero.

perficie redondeada que no pueda herir los conductores cuando sean introducidos en su interior. Una vez cortados los tubos, deberán roscarse sus extremos en una longitud aproximada de 25 a 30 mm, longitud que equivale a la mitad de la que tiene un manguito de unión, cuya longitud oscila de 50 a 60 mm según el diámetro del tubo.



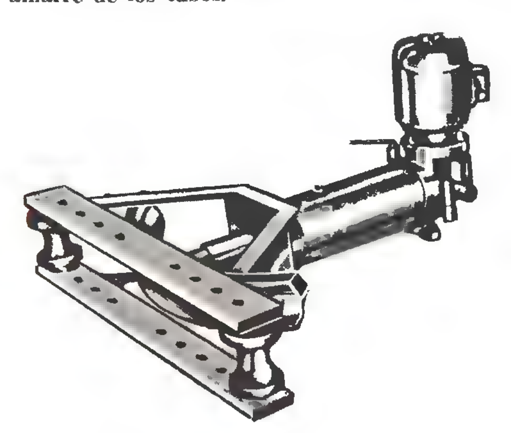
Otro modelo de mordaza para sujetar tubos de acero, especial para bancos de madera.



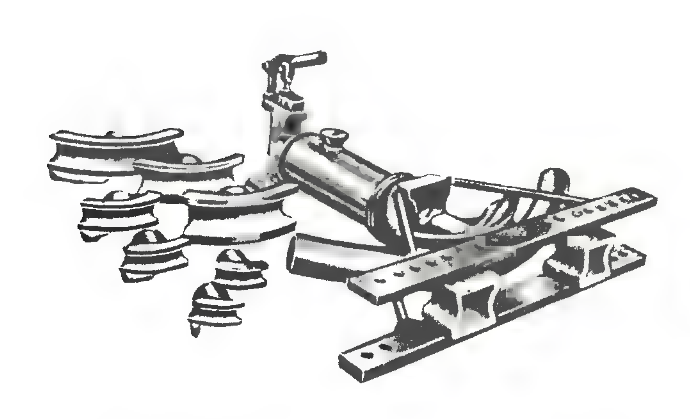
Banco metálico con tornillo de cadena para el amarre de los tubos.

MOLDEADO DEL TUBO DE ACERO

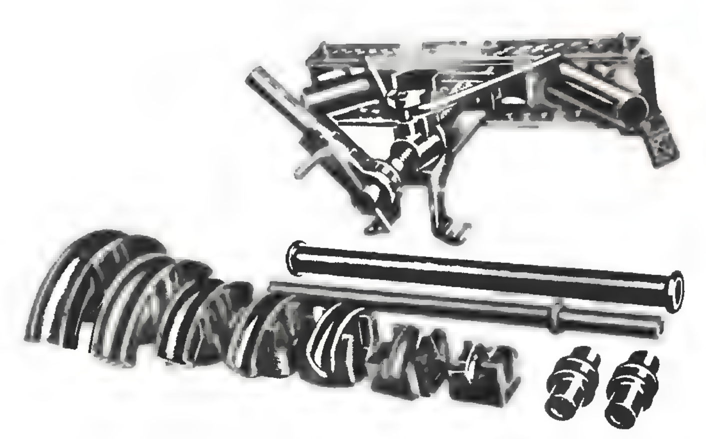
Del mismo modo que como se moldeaba el tubo Bergmann con una tenaza especial para tal cometido, el tubo de acero puede moldearse dándole las curvas o figuras necesarias que la configuración de los edificios precise para no dañar ninguno de sus elementos resistentes. Pero el moldeo de los tubos de acero requiere un utillaje especial curvador de tubos. Tal utillaje puede ser *de sobre banco* cuando queda sujeto a un banco portátil con mordazas intercambiables para cada diámetro del tubo. También puede ser de *palanca portátil,* dotada de mordazas especiales; una para cada diámetro de tubo, como en la modalidad de sobre banco.



Utillaje de acción mecánica para curvar tubos en frío.



Utillaje con dispositivo neumático accionado manualmente para curvar tubos en frío.



Utillaje portátil de palanca para curvar tubos en frío.

FIJACION DEL TUBO EN LAS PAREDES

Una vez moldeado el tubo según el trazado requerido, se fija a las paredes por los mismos procedimientos empleados para el tubo Bergmann, o sea mediante tacos fijos a la pared sobre los cuales se atornillan las bridas soportadoras del tubo, cuando la instalación se deja vista; o bien, sujeto con puntas dentro de las rozas practicadas en la pared, cuando se trata de tubos empotrados. Las puntas sirven de soporte provisional mientras no se proceda a la fijación definitiva que les da el enlucido de yeso aplicado sobre el tubo.

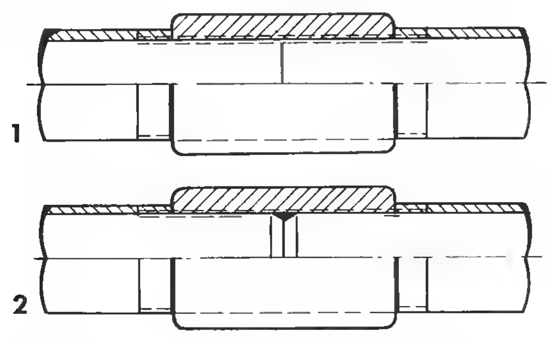
En las instalaciones donde se prevén trayectos largos o con muchas curvas, deberán colocarse cajas de derivación, cada tres o cuatro metros, para poder sustituir los conductores en caso de avería sin tener que levantar todo el enlucido que cubra el tramo afectado lo que ahorra trabajos.

Ante la posibilidad de que una instalación industrial esté sometida a las variaciones de temperatura que experimenta el ambiente, debe pensarse en las posibles condensaciones de la humedad del aire interior de los tubos. Al efectuar el trazado de la instalación de acero es aconsejable sustituir los tramos horizontales por un tramo inclinado *de muy poca pendiente*, con el fin de que las posibles gotas de agua formadas al condensarse la humedad interior puedan escurrirse hacia la caja de derivación más próxima. Esta precaución evita no pocas averías que podrían derivarse de una humedad constante en un punto de los conductores, capaz de amenazar la permeabilidad de sus aislantes.

UNION DE DOS TUBOS MEDIANTE MANGUITO

Una vez roscados los extremos de los tubos de acero a empalmar, como antes dijimos, roscaremos la punta de un tubo hasta cubrir la mitad de la longitud del manguito, y también la punta del otro tubo, por el lado contrario, de forma que cubra la otra mitad. Una vez atornillados los dos tubos al manguito, los extremos deben coincidir *a tope*.

La unión entre tubos y manguito debe ser impermeable; deben seguirse las mismas precauciones que si se tratase de un tubo para conducción de agua. Sobre la rosca deberán colocarse unos hilos de cáñamo impregnados de minio de plomo, o cualquiera de las cintas de caucho sintético, adecuadas para este menester, que se hallan en el mercado.



Unión de dos tubos mediante un manguito roscado. Observe que se han mecanizado los extremos para evitar cantos entrantes. La figura 1 representa la solución incorrecta.

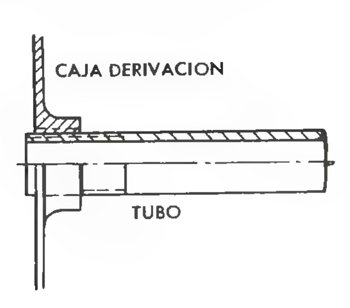




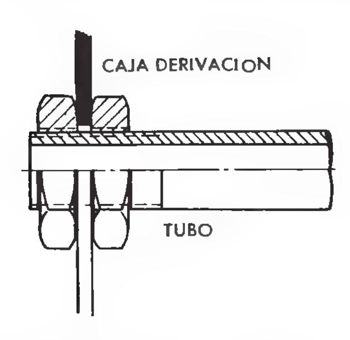
Herramientas para el roscado de los tubos. 

CAJAS DE DERIVACION

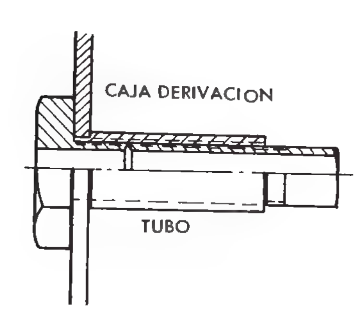
Las cajas de derivación empleadas para las instalaciones con tubo de acero suelen ser metálicas, de aluminio, hierro fundido, acero laminado, etc., y adoptan las formas más diversas. Casi en su totalidad están dotadas de fichas de conexión similares a las que vimos en la lección 7 en los apartados dedicados a la descripción de cajas de derivación. Las cajas para instalaciones industriales se diferencian de aquéllas en que sus tapas son de cierre hermético y en que las entradas de los tubos llevan manguitos especiales, o uniones roscadas especiales, en las formas que representamos en las figuras siguientes.



Tubo roscado directamente sobre la caja de derivación. El extremo del tubo se ha mecanizado.

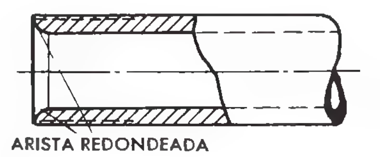


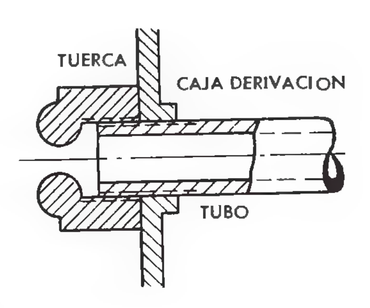
Unión de un tubo a la caja por medio de dos tuercas. El final del tubo debe mecanizarse.



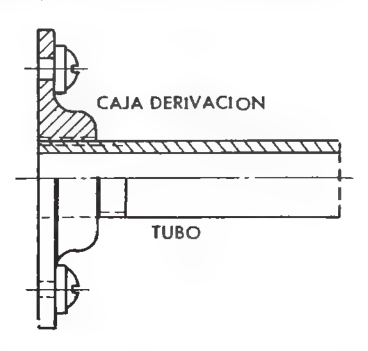
Tubo unido a la caja por medio de un manguito.

En todas estas uniones entre tubos, o entre tubos y cajas de derivación, deberá ponerse especial cuidado en redondear la punta de los tubos en la forma en que se expresa en la figura, a fin de no herir el cable.





Entrada de tubo directamente roscado a la caja con tuerca de bordes redondeados.



Tubo unido a la caja por medio de una pletina roscada.



Caja de derivación con cinco entradas para tubo de acero.

TUBOS DE HIERRO EMPLOMADO

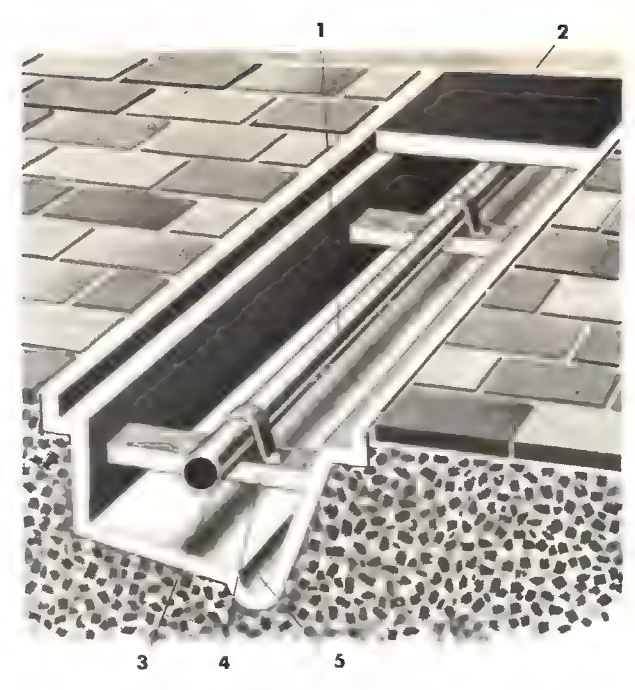
Estos tubos son una variante de los de acero. Están especialmente diseñados para todas las instalaciones que deban quedar sometidas a ambientes húmedos u oxidantes, como por ejemplo en fábricas de papel, textiles, etc. También es indicada su utilización en máquinas donde la instalación precise gran protección mecánica y al mismo tiempo quedar protegida de los líquidos que por fuerza se derraman sobre ella por causa de su situación forzosa en el conjunto mecánico. Tal es el caso de tornos, fresas, taladros, etc., refrigerados con taladrina, que se derrama constantemente sobre la máquina y pone en peligro la instalación eléctrica si no se han tomado las medidas oportunas.

Este tubo es indicadísimo para instalaciones subterráneas que llevan conductores a máquinas herramientas, bien sea directamente empotrados en el suelo (cuando se trate de instalaciones normales) o bien sea montados en una zanja. En las instalaciones de este tipo el tubo se apoya en unos soportes traveseros de forma tal que permiten circular el agua o líquidos por debajo de él, evitando que el tubo esté constantemente en contacto con ellos.

Como puede apreciarse en la figura, el canal del suelo se reviste de hormigón o mortero. Su fondo es inclinado a fin de que el agua que pueda circular por la canal se deposite en el canalillo especialmente practicado para tal fin.

Como es natural, el canalillo de desagüe tiene la pendiente necesaria, además de las oportunas salidas de drenaje, para evitar que los líquidos se estanquen alcanzando el nivel del tubo.

Los tubos quedan a una altura intermedia, sujetos con grapas de fijación sobre unos soportes de pasamano, o hierros angulares, que previamente han sido inmovilizados en el canal a una altura conveniente y mantienen entre sí una separación aproximada de un metro.



Tubo de hierro emplomado instalado en una regata con canalillo de desagüe. 1. Tubo. — 2. Tapa de hierro, madera, mampostería, etc. — 3. Grapa de fijación. — 4. Soporte de apoyo. — 5. Canalillo de desagüe.

Comercialmente se encuentra en las mismas medidas adoptadas en tubos normales de acero y Bergmann.

Los conductores a introducir en los tubos de acero, o en los de acero emplomado, son conductores especiales de doble vulcanización. Tales conductores se llaman NP o NT. Con estas iniciales se conocen los tipos más usuales. Existen modelos similares.

Aunque muchos instaladores suelen emplear conductores vulcanizados corrientes, o sea los del tipo IKB o sus semejantes, no deben recomendarse en estas instalaciones, donde lo que se pretende es obtener protección total contra ambientes húmedos.

TUBOS DE CAUCHO O DE PLASTICO

Estos tubos, que se encuentran en el mercado con los mismo diámetros y longitudes que los Bergmann, vienen a ser una variedad de los tubos anteriormente descritos, si bien su uso puede ser indistinto, para las instalaciones de tubos vistos o para instalaciones empotradas. Su uso se ha generalizado mucho más en instalaciones empotradas por la facilidad de moldeo, ya que en la mayoría de los casos pueden adaptarse a los accidentes de la pared moldeándolos a mano sin el empleo de tenazas especiales. Algunas veces es necesario calentar el tubo, sobre todo cuando es de gran diámetro, al objeto de facilitar su moldeo, que resultaría deficiente en caso de hacerlo en frío. Para la fijación de los tubos a las paredes se emplean los mismos accesorios que para los tubos Bergmann.

COLOCACION DE LOS CONDUCTORES EN LOS TUBOS

Independientemente del tipo o característica de los tubos, los conductores se colocarán observando las normas dadas en la lección 7 para la colocación de los conductores en tubos Bergmann. Queremos insistir en que los hilos deben colocarse de un solo tramo entre caja y caja de derivación, y en que no está permitido introducir conductores empalmados por el interior de los tubos. Tampoco debe aprovecharse toda la sección del tubo intentando llenarla de conductores, que deben entrar con holgura.

Con el fin de facilitar la selección del tubo a emplear en función del número de conductores y sección de los que han de introducirse en él, cerramos este capítulo con una tabla que da el tubo más apropiado para conductores vulcanizados IKB y NT de secciones comprendidas entre 1 y 100 mm² y hasta 4 conductores por tubo.

TUBOS BERGMANN, PLASTICO Y HIERRO EMPLOMADO

Sección de los conductores en mm²	Un conductor por tubo en montaje		Dos conductores en montaje		Tres conductores en montaje		Cuatro conductores en montaje	
	visto	empotrado	visto	empotrado	visto	empotrado	visto	empotrado
1	9	9	11	13	13	16	16	23
1'6	9	11	11	13	13	16	16	23
2'5	11	13	13	16	16	23	23	23
4	11	13	16	23	23	23	23	29
6'3	11	13	16	23	23	23	23	29
10	13	13	16	23	23	23	23	29
16	13	16	16	23	23	29	29	29
25	16	16	23	29	29	29	36	36
40	16	23	29	29	36	36	36	48
50	23	23	29	36	36	48	48	48
63	23	29	29	36	48	48	48	48
80	29	36	48	—	—	—	—	—
100	29	36	—	—	—	—	—	—

* * * * *

ELECTRICIDAD

Devanados para dínamos
Los devanados en la práctica
Estudio del inductor
Reóstatos
Motores de corriente continua



LECCION Nº 18

electrotecnia 18

Dínamos II. Devanados imbricados simples y compuestos. - El devanado más conveniente. El inductor. - Detalles constructivos de las dínamos.



INTRODUCCION

Esta lección es, en realidad, una continuación de los temas tratados en la anterior. Seguimos con el estudio de los generadores de corriente continua: las dínamos, cuyo conocimiento pretendemos completar.

La ilación entre los temas de la lección anterior y los de la presente es absoluta; entre ambas forman un «tratado de la dínamo» que comprende sus principios, su estudio eléctrico y su constitución mecánica.

Sigamos, pues, con el estudio que dejamos interrumpido por considerar que la extensión y dificultades de un tema requieren un límite y una clasificación.

DEVANADOS IMBRICADOS

Los devanados de este tipo están sujetos a una sola condición por lo que se refiere al número de conductores. EL NÚMERO DE CONDUCTORES DE UN DEVANADO IMBRICADO DEBE SER, SIEMPRE, UN NÚMERO PAR.

Existen dos tipos de devanados imbricados: simples y compuestos.

Los devanados imbricados resultan mucho más sencillos que los ondulados (también es mucho más simple la condición que afecta al número de

conductores), lo que vamos a demostrar con algunos ejemplos.

a) DEVANADO IMBRICADO SIMPLE

La fórmula que regula estos devanados es extremadamente sencilla. Véala:

$$y_1 - y_2 = \pm 2$$

EJEMPLO 1

Devanado imbricado simple para dínamo bipolar de 12 conductores.

Tratándose de una dínamo con dos masas polares, es evidente que, en el inducido, el número de ranuras por cada paso polar será:

$$N = \frac{12}{2} = 6 \text{ conductores}$$

Sabemos que la diferencia entre el paso anterior y el posterior debe ser igual a ± 2. Esta condición la mantendremos escogiendo dos números impares próximos a 6 y cuya diferencia sea 2.

Tomemos, por ejemplo:

Paso posterior $y_1 = 7$

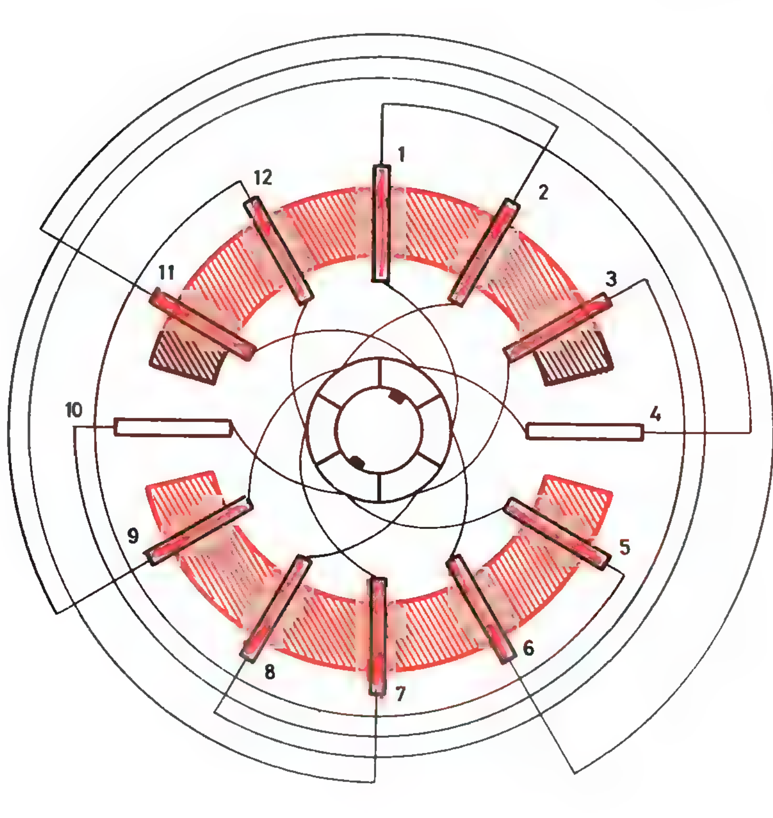
Paso anterior $y_2 = 5$

$y_1 - y_2 = 2$

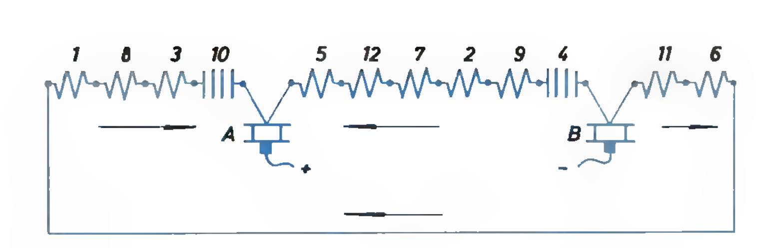
También podríamos establecer el caso inverso, o sea:

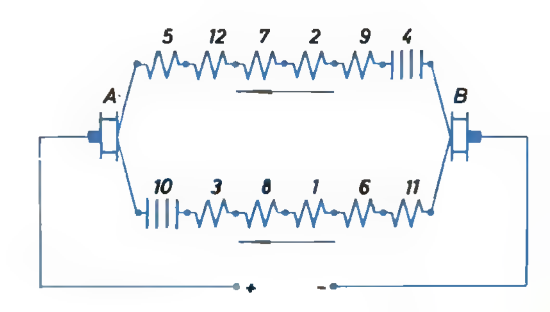
Paso anterior $y_2 = 7$ y paso posterior $y_1 = 5$, en cuyo caso será: $y_1 - y_2 = 5 - 7 = -2$.

Vea el esquema circular de este devanado, así como la situación de las escobillas.



Devanado imbricado simple para dínamo bipolar de 12 conductores y pasos $y_1 = 7$ e $y_2 = 5$.





EJEMPLO 2

Devanado imbricado simple para dínamo tetrapolar con 16 conductores.

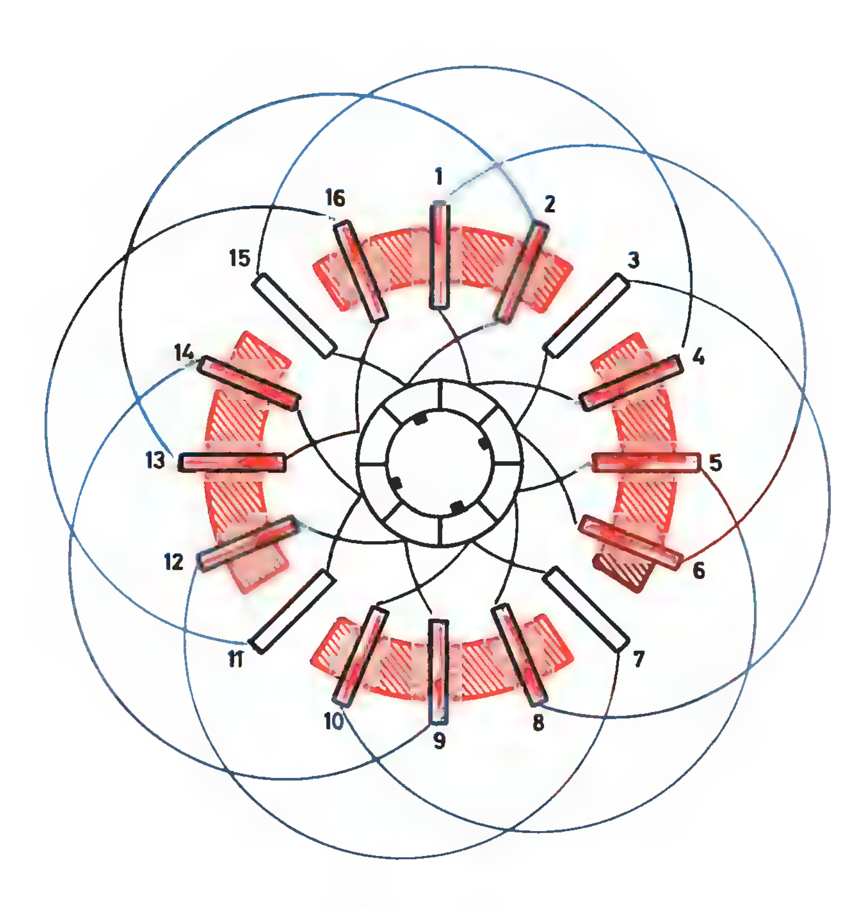
En este caso son cuatro los pasos polares a tener en cuenta, por lo cual el número de conductores por cada paso polar será:

$$N = \frac{16}{4} = 4 \text{ conductores}$$

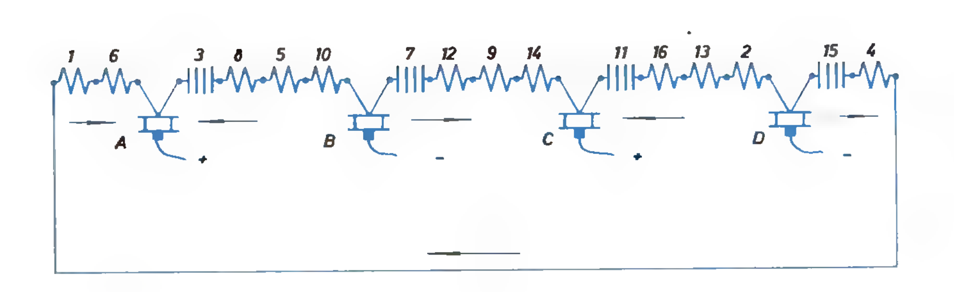
Sabemos que es condición indispensable que se cumpla que $y_1 - y_2 = \pm 2$. Como antes, escogeremos dos números impares próximos a 4 y cuya diferencia sea 2.

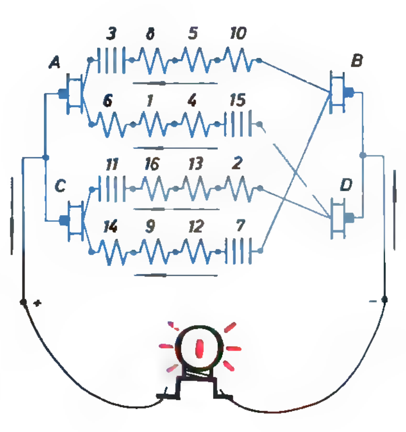
Digamos que es $y_1 = 5$ e $y_2 = 3$. Se cumple, en efecto que $y_1 - y_2 = 5 - 3 = 2$.

La expresión gráfica del devanado descrito es la que representa el segundo esquema de esta lección, al que acompañan los gráficos que señalan la situación de las escobillas.



Devanado imbricado simple para dínamo tetrapolar de 16 conductores $y_1 = 5$ e $y_2 = 3$.





b) Devanado imbricado múltiple

Son aquellos devanados imbricados que antes de recorrer todos los conductores se cierran dos o más veces.

Creemos que no hace falta insistir sobre esta definición, dado que es similar en todo al caso de los devanados ondulados múltiples que hemos estudiado.

La fórmula que rige estos devanados también es extremadamente sencilla:

$$y_1 - y_2 = \pm 2\ Q$$

La letra Q representa el número de circuitos, o sea, el número de veces que se cierra el devanado.

En estos devanados debe cumplirse una única condición, cuyo enunciado parece un poco jeroglífico, pero que, en realidad, es algo sumamente sencillo:

La cantidad que expresa la mitad del número de conductores debe ser un múltiplo de Q.

Esto quiere decir que para un devanado doble (será Q = 2) el número de conductores debe ser uno de éstos:

8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, etc.

Observe cómo son, en efecto, el doble de los múltiplos de 2 (4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, etc.).

De acuerdo con la condición establecida, el número de conductores de un devanado imbricado triple (Q = 3) deberá ser 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, etc., que son el doble de los múltiplos de 3 (3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, etc.)

Pasemos a los ejemplos.

EJEMPLO 1

Proyectar un devanado imbricado doble para dínamo tetrapolar de 32 conductores.

El número de conductores por paso polar será:

$$N = \frac{32}{4} = 8 \text{ conductores}$$

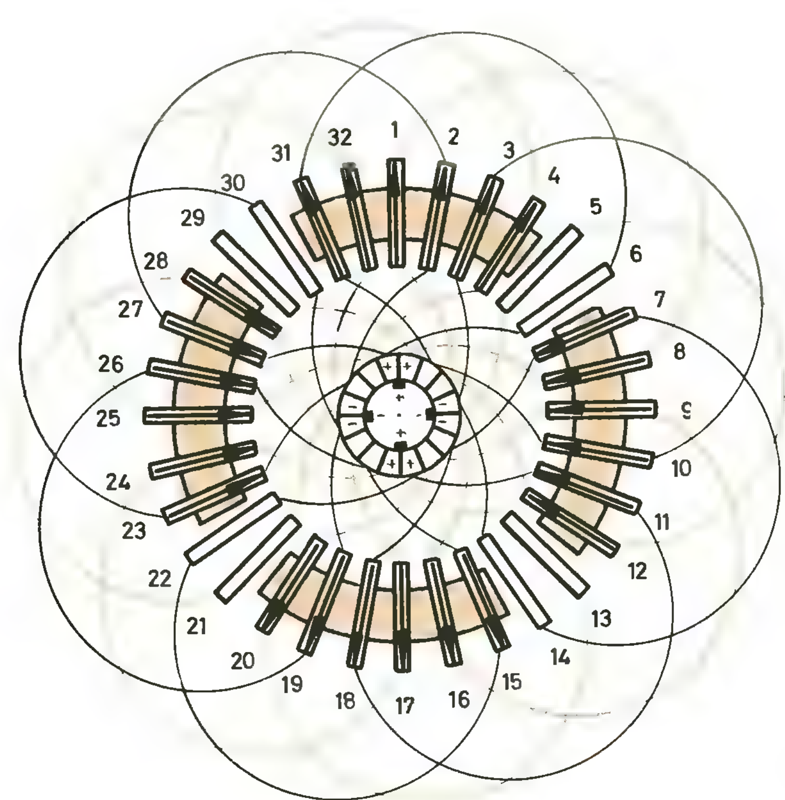
Para determinar y_1 e y_2, tomemos dos números impares próximos a 8 y cuya diferencia sea:

$$y_1 - y_2 = 2\ Q = 2 \times 2 = \pm 4$$

Estos números pueden ser 11 y 7, puesto que 11 — 7 = 4.

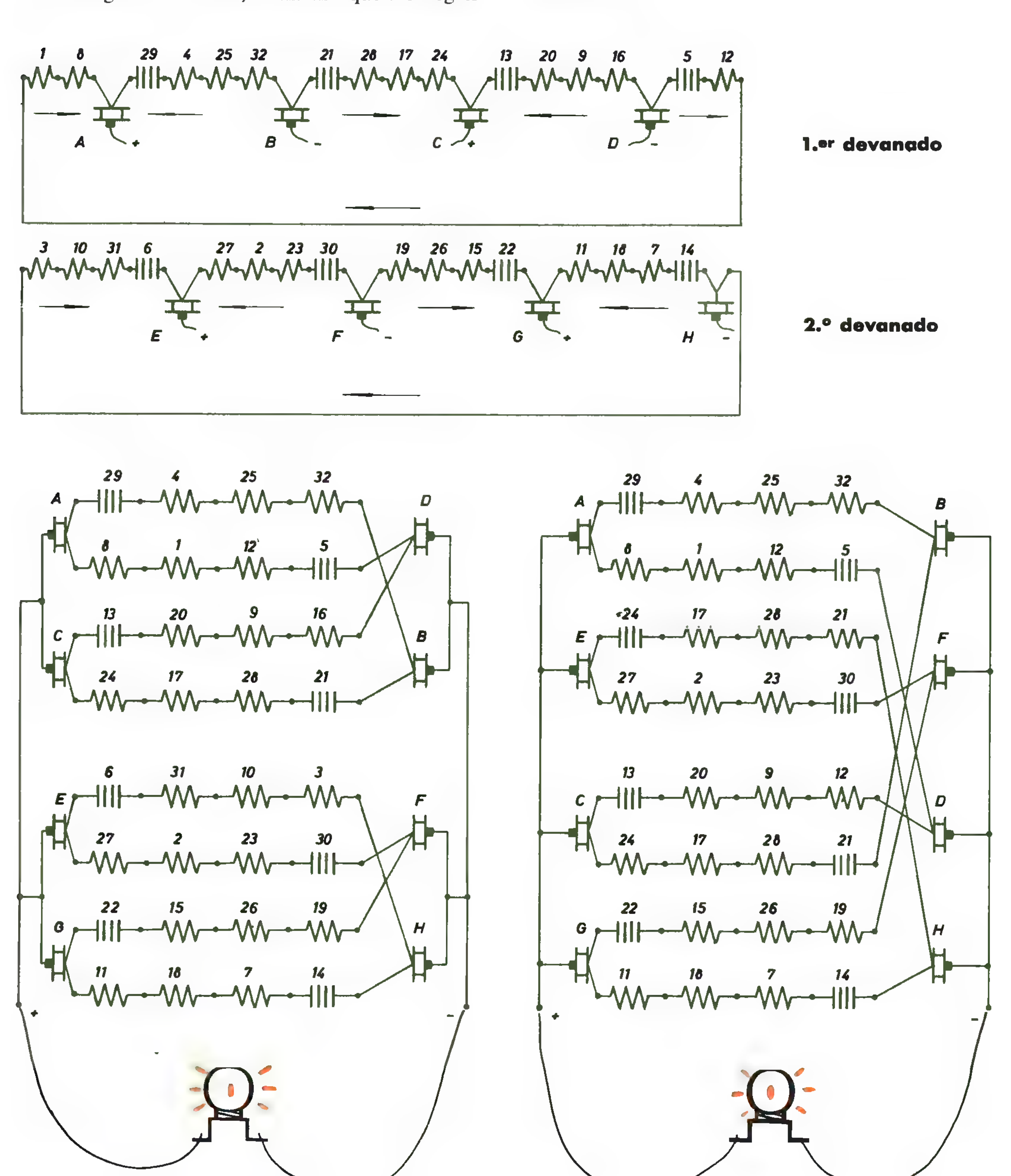
Por tanto, los pasos de la dínamo serán

$$y_1 = 11 \text{ e } y_2 = 7$$



Devanado imbricado doble para dínamo tetrapolar de 32 conductores.

Vea los esquemas y observe que, en este devanado, las escobillas positivas de los dos circuitos son contiguas dos a dos, lo mismo que las negativas. Podemos, pues, poner sólo cuatro escobillas, como demuestran los dos últimos esquemas de esta serie.



Esta dínamo puede funcionar con cuatro únicas escobillas.

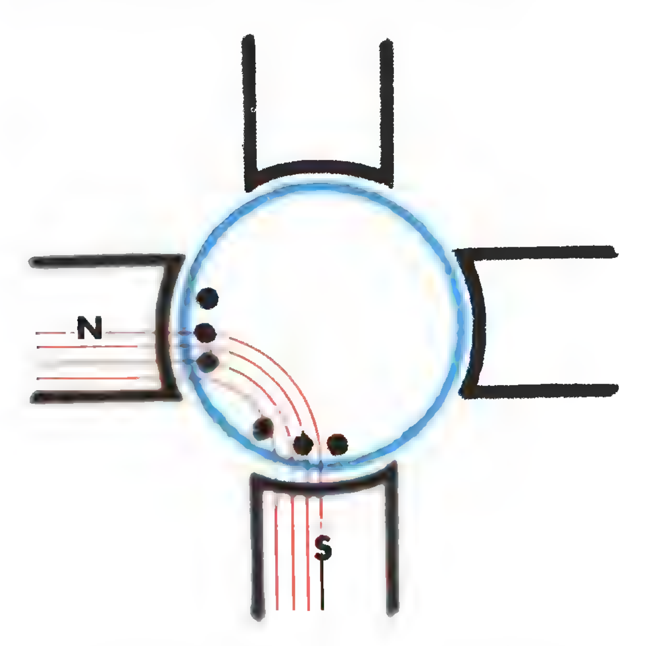
¿CUAL ES EL DEVANADO MAS CONVENIENTE?

Entrando directamente en materia, sin rodeos de ninguna especie, contestemos la pregunta que constituye el título inmediato.

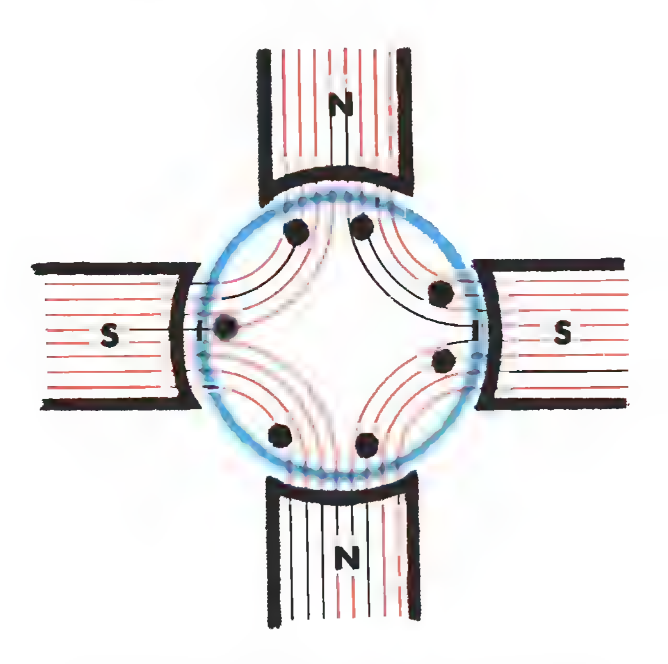
DEBEN USARSE, PREFERENTEMENTE, DEVANADOS ONDULADOS. Es así por una razón fácil de comprender: en los devanados ondulados sucede que en cada sección inducida, en cada circuito derivado, intervienen conductores situados en todos los polos de la dínamo. De esta forma, si hay alguna irregularidad que pueda afectar al campo inductor (defectos en la culata, irregularidades en los entrehierros, etc.) queda compensada porque repercute en todos los circuitos derivados.

En cambio, los devanados imbricados están formados por circuitos derivados cuyos conductores quedan situados en un solo campo polar. Cuando uno de estos campos tiene algún defecto, las irregularidades que origina repercuten sobre un solo circuito derivado, dando lugar a corrientes distintas, lo que aumenta de modo considerable las corrientes de Foucault.

Puede comprobar ambas circunstancias en los muchos ejemplos de devanados que hemos dado a lo largo de la lección que nos precede y en la que ahora nos ocupa.



En un devanado imbricado, los conductores de un circuito derivado quedan sometidos a la acción de un solo campo polar.



En un devanado ondulado cada circuito derivado está formado por conductores sometidos a la acción de todos los campos polares de la dínamo.

LOS DEVANADOS EN LA REALIDAD

Por el momento no nos hemos movido de un plano teórico, suponiendo que el devanado del inducido estaba formado por *un conductor en cada ranura*. Gracias a este supuesto teórico nos hemos familiarizado con los devanados, cosa que no deja de tener su importancia; pero si deseamos dejar lo puramente teórico para alcanzar la realización práctica de un devanado, deberemos superar dos escalones; uno de índole teórica y otro de naturaleza práctica.

Ante todo, digamos que los devanados teóricos que hemos descrito serían suficientes para demostrar que estamos ante soluciones ciertas. Es decir: si con un hilo de cobre aislado y nos entretenemos en obtener sobre un paquete de planchas uno cualquiera de los devanados estudiados, conseguiríamos el inducido de una dínamo *que funcionaría*. El inconveniente, empero, estaría en que la corriente obtenida resultaría tan débil que su aprovechamiento práctico sería limitadísimo.

Hace falta aumentar la corriente. La solución más inmediata consiste en multiplicar el número de conductores activos, lo que, en contra de lo que puede parecer, se hace de la forma más sencilla que pueda imaginarse:

Vea las dos figuras inmediatas y advierta que la primera representa lo que hemos hecho hasta

ahora en materia de devanados: pasar un alambre, un conductor activo, por cada ranura correspondiente. En el caso que ilustra la figura, hemos pasado el conductor por la ranura; de aquí lo hemos llevado a la ranura 5 y, a través de una delga del colector, a la ranura 11.

La segunda figura simboliza nuestra primera idea para la solución del problema planteado. Una vez pasado el conductor de la ranura 1 a la 5, enrollamos varias espiras que pasen también por las ranuras 1 y 5, antes de ir en busca del colector. Después, pasaríamos el hilo por la ranura 11 y repetiríamos la operación. Es decir: haríamos otra bobina.

Hemos definido el concepto de bobina y con ello se ha multiplicado considerablemente el número de conductores activos.

La solución parece estar en conseguir un inducido de gran diámetro para poder ubicar en sus ranuras muchas bobinas de varias espiras. Es una solución, desde luego; pero tiene un límite impuesto por el tamaño del inducido, que no puede rebasar ciertas medidas, como veremos más adelante.

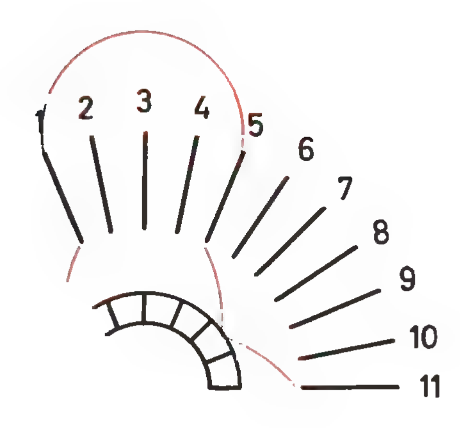
Por una parte nos interesa un aumento del número de conductores activos; por otra, no podemos aumentar indefinidamente el tamaño del inducido. Digamos, más bien, que este tamaño tiene unos límites moderados. ¿Cómo conjugar ambos intereses?

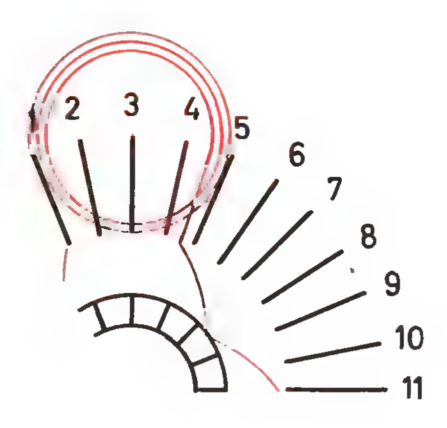
Llegamos a un nuevo eslabón, donde se entra ya en soluciones que pertenecen a la realidad de los devanados:

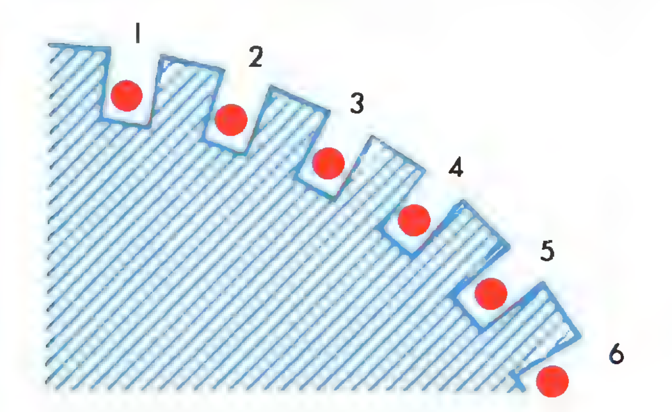
REDUCIMOS A LA MITAD EL NÚMERO DE RANURAS Y MANTENEMOS EL MISMO NÚMERO DE CONDUCTORES ACTIVOS PRACTICANDO EL ARROLLAMIENTO EN DOS CAPAS.

Hemos dicho que estamos a una paso de la solución práctica de los devanados. Veamos cómo llegamos a ella a través de un proceso que nos haga ver la transición entre el planteo teórico de un devanado y su solución real.

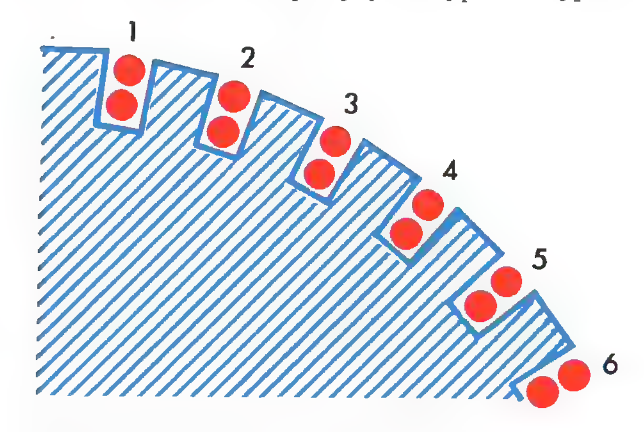
Tomaremos, como ejemplo, el caso de una dínamo tetrapolar de 24 conductores con arrollamiento ondulado simple y pasos $y_1 = 5$ e $y_2 = 5$.







Arrollamiento con una sola capa. Es lo que corresponde al planteo teórico del devanado.



Esta figura representa el devanado anterior, solucionado en dos capas. Vea cómo el número de ranuras se ha reducido a la mitad.

Ante todo, consideremos su devanado teórico.

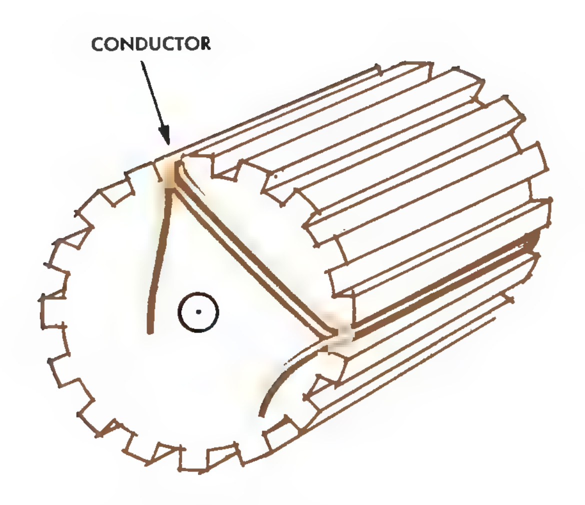
Devanado teórico de una dínamo tetrapolar con 24 conductores, arrollamiento ondulado simple y pasos $y_1 = 5$ e $y_2 = 5$.

Lo que nos proponemos, recuérdelo, es pasar del arrollamiento teórico al bobinado real del inducido. Vamos a dar el primer paso. En vez de un solo conductor por ranura, haremos pasar por ellas *lados* de bobina. Estas bobinas seguirán, desde luego, la pauta dada por el esquema teórico.

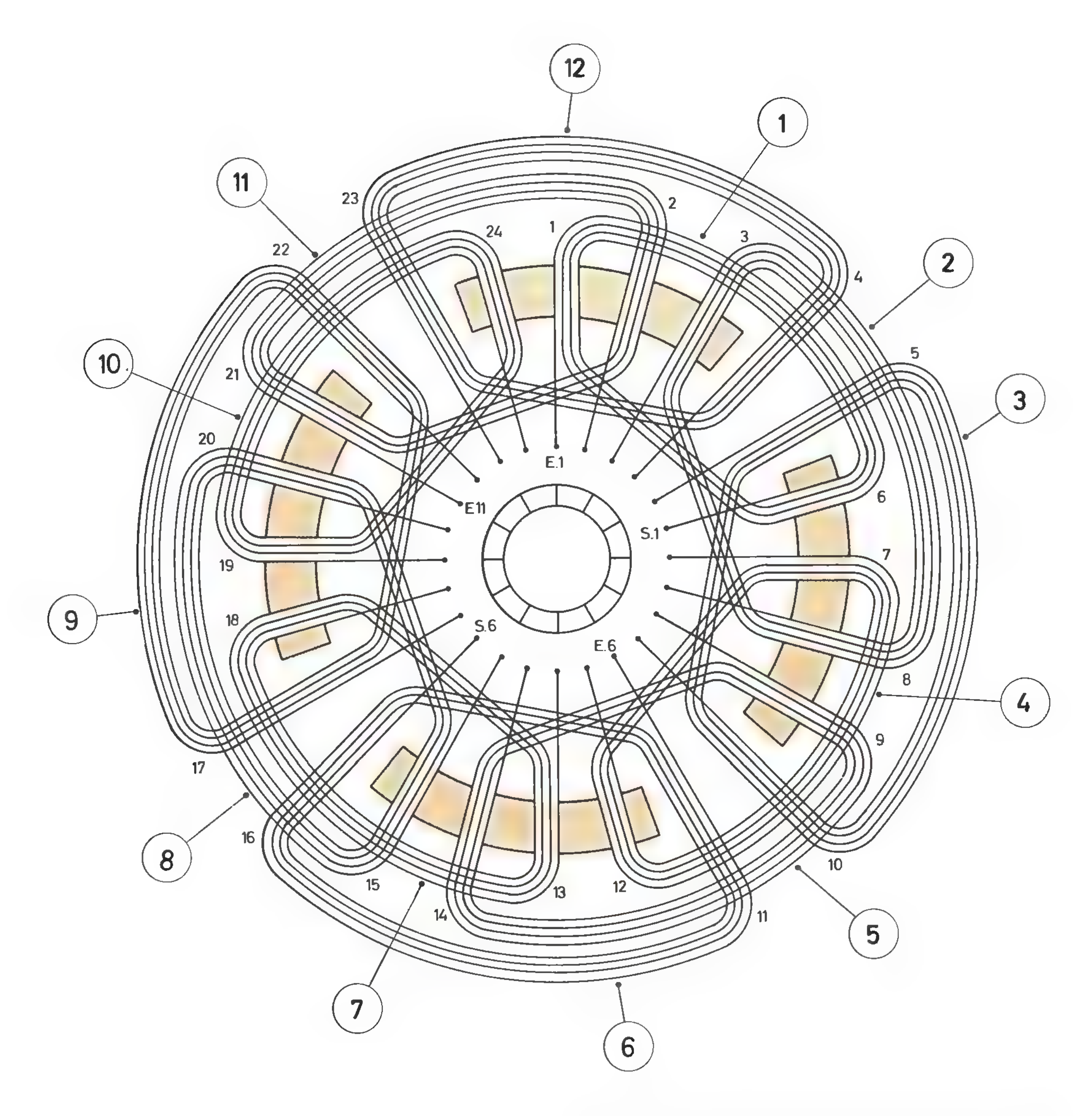
Por ejemplo:

Por la ranura 1 entrará el hilo de la primera bobina, hilo que penetrará en la ranura 6 (vea el esquema teórico) para volver de nuevo a la 1. Es decir: la primera bobina se enrollará entre las ranuras 1 y 6, de modo que lo que antes era un solo conductor es ahora el lado de una bobina.

Con esta modificación el esquema teórico del devanado se convierte en lo que podemos llamar, para entendernos, el esquema de los bobinados.



Lo que en teoría es un conductor se nos convierte en el lado de una bobina.



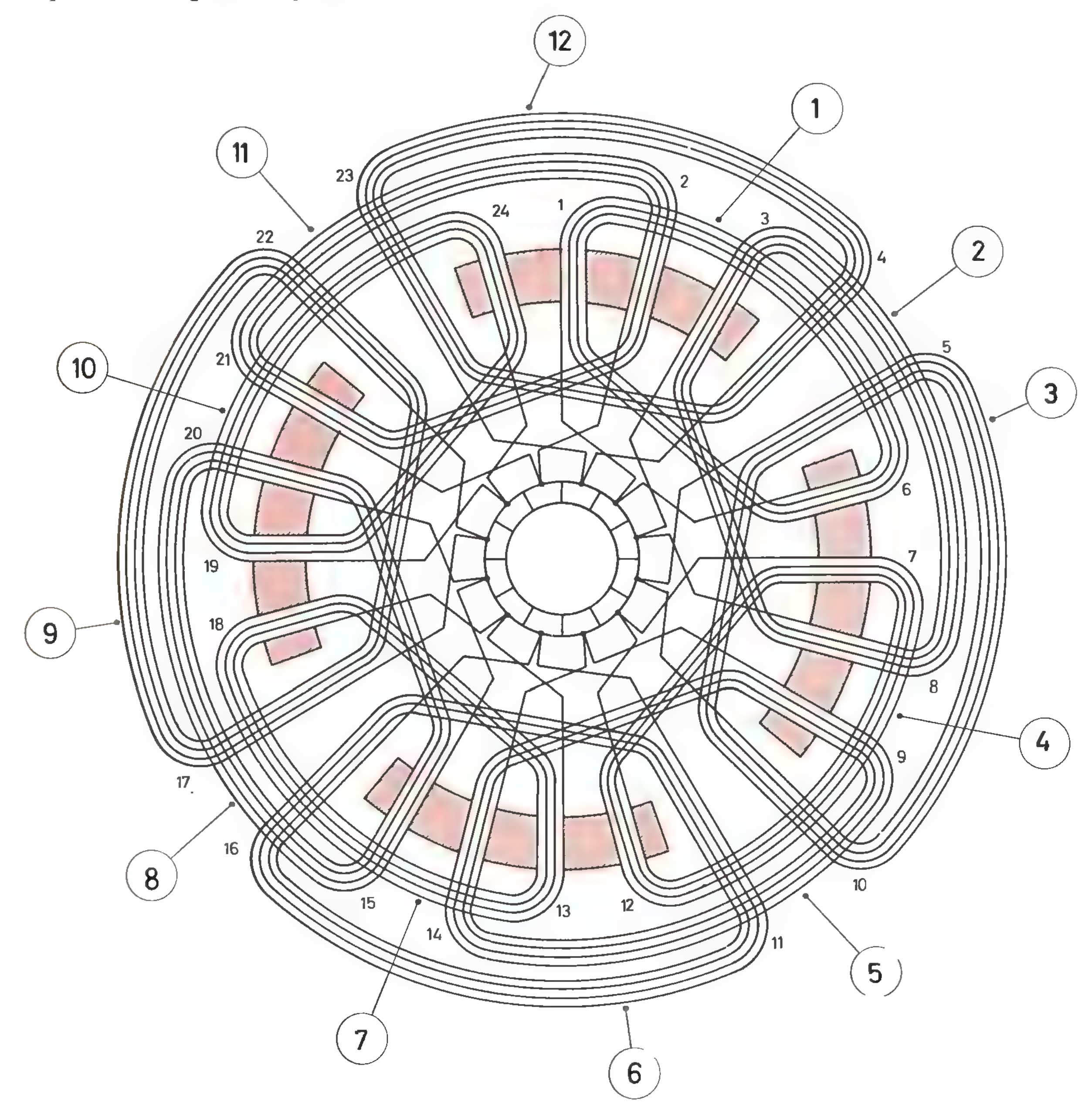
Esquema de los bobinados de la dínamo que nos ocupa.

En este nuevo esquema los números encerrados en un círculo corresponden al número de la bobina. Así, podremos hablar de la bobina 5 y distinguirla de las demás. Es decir; se trata simplemente de una forma de denominar las bobinas.

Se trata, ahora, de unir en forma conveniente las entradas y salidas de las bobinas. Y lo conveniente es seguir el esquema teórico expuesto.

Uniremos la bobina 1 con la 6 conectando la salida de la primera (S_1) con la entrada de la segunda (E_6); la salida de la bobina 6 (S_6) se conectará con la entrada E_{11} de la bobina 11 y así sucesivamente, siguiendo lo que indica el esquema teórico.

Habremos obtenido doce conexiones, que soldaremos a las delgas del colector de acuerdo con lo que indica el gráfico adjunto.

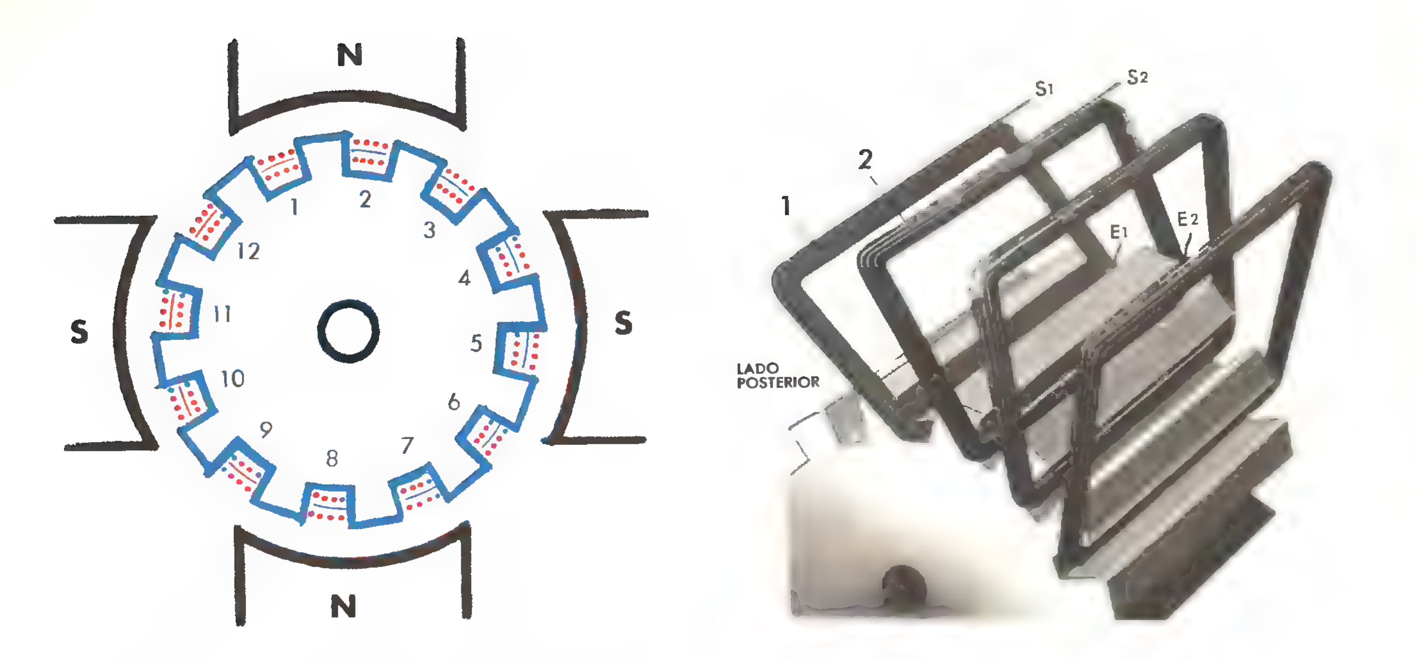


Esquema de las bobinas con la indicación de las conexiones a las delgas.

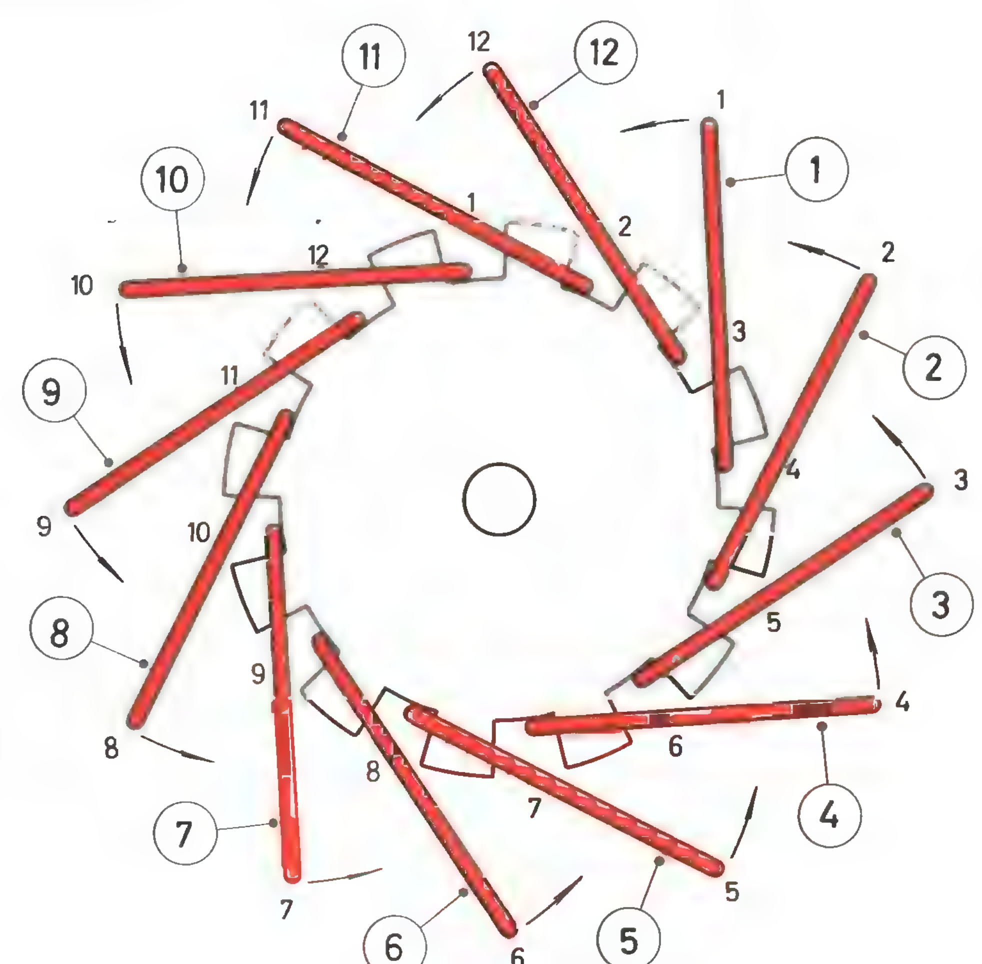
Vamos a dar un nuevo paso: la reducción a la mitad del número de ranuras.

Para ello prepararemos un inducido con doce ranuras (la mitad del número de conductores teóricos) y en cada una de dichas ranuras alojaremos un lado de bobina, siguiendo el orden que establecemos a continuación (vea también los dibujos que ilustran este paso):

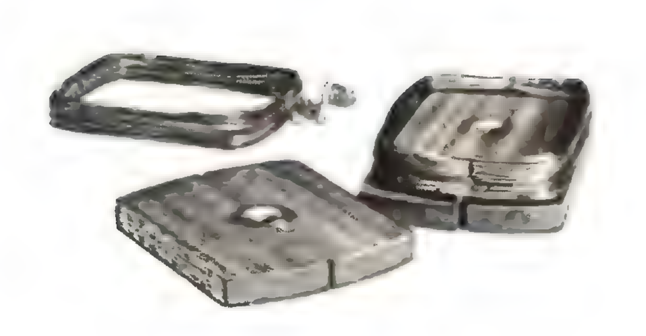
En el fondo de la ranura 1 alojaremos el lado de la bobina (10) que antes se alojaba en la ranura 24. En la parte superior de esta misma ranura 1, pondremos el lado de la bobina 1. En la ranura 2, y en su fondo, se ubicará un lado de la bobina 11 que antes estaba en la ranura 2; encima, se situará el lado de la bobina 2 que antes se alojaba en la ranura 3. Etc.



Sección esquemática de una dínamo con 24 conductores activos bobinados en dos capas sobre paquete de chapa con doce ranuras.



Esta sería una vista por el lado opuesto al colector. Lo que vemos de las bobinas es su lado posterior. Plegando las bobinas (rebatléndolas sobre el núcleo del inducido) según lo que indican las flechas, el lado superior de cada una de dichas bobinas se alojará en la parte exterior de la ranura que le corresponde. Habremos obtenido un devanado tal y como se ejecuta en la realidad.





Las bobinas se preparan por separado, enrollando el hilo sobre piezas de madera (u otro material) calculadas para obtener el hueco de espira necesario al inducido que se trata de devanar.

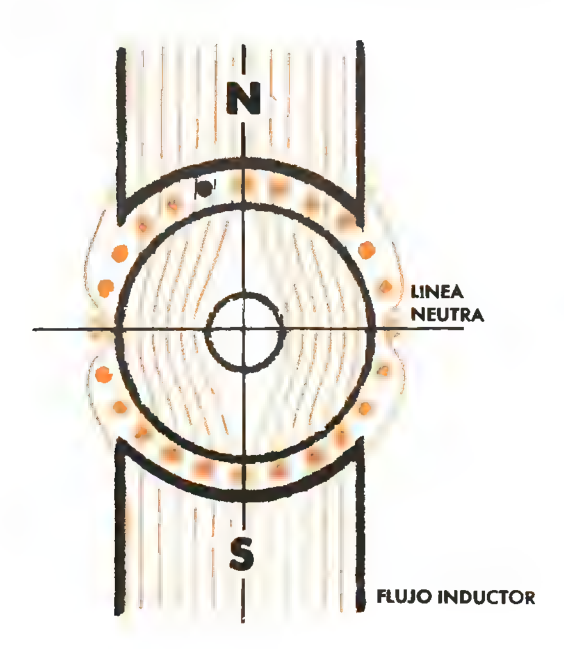
REACCION DEL INDUCIDO

¡Qué bien!, ¿verdad? Hemos terminado el estudio del inducido en sus partes fundamentales.

Pues no; no lo hemos dicho todo, porque *la electricidad tiene su duende*, especializado en proporcionar complicaciones que nadie desea. Algo sucede, en efecto, en el caso de los inducidos de las dínamos.

Hemos visto cómo el campo magnético inductor, que va de norte a sur, atraviesa el inducido, en cuyos conductores aparecerá la correspondiente corriente inducida.

Piense en una cosa: el inducido, en definitiva, es una masa de chapa magnética con una serie de conductores devanados sobre ella. Cuando por estos conductores circula una corriente, ¿no será lógico que el conjunto se comporte como un electroimán? En efecto: el inducido crea su propio flujo magnético.



El flujo inductor que atraviesa el inducido, crea en sus espiras una corriente inducida.



Las corrientes inducidas que circulan por los conductores del inducido hacen que éste se comporte como un electroimán.

En consecuencia, tendremos dos flujos (flujo inductor y flujo creado por el inducido) que se influirán mutuamente con un resultado perjudicial al buen funcionamiento de la dínamo: se altera el curso del flujo inductor.

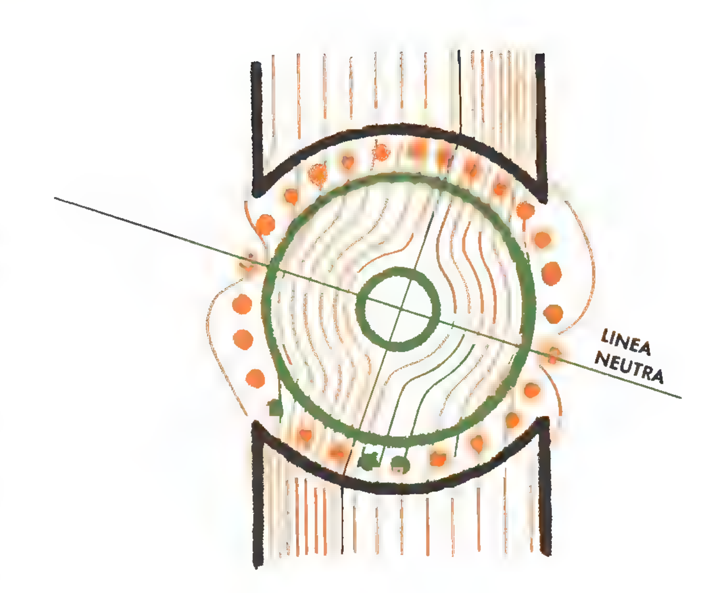
Este fenómeno se llama REACCIÓN DE INDUCIDO. Se han ideado ingeniosos dispositivos para evitar sus efectos nocivos.

Los efectos inmediatos de esta desviación del campo inductor producida por la reacción de inducido son:

1.º Aumentar las pérdidas en el hierro, tanto en el inducido como en el inductor.

2.º La distorsión del campo inductor favorece la formación de chispas en las escobillas, que pueden destruir a ellas mismas y al colector.

3.º Esta misma distorsión del campo produce una caída de tensión en la máquina que disminuye su f.e.m.



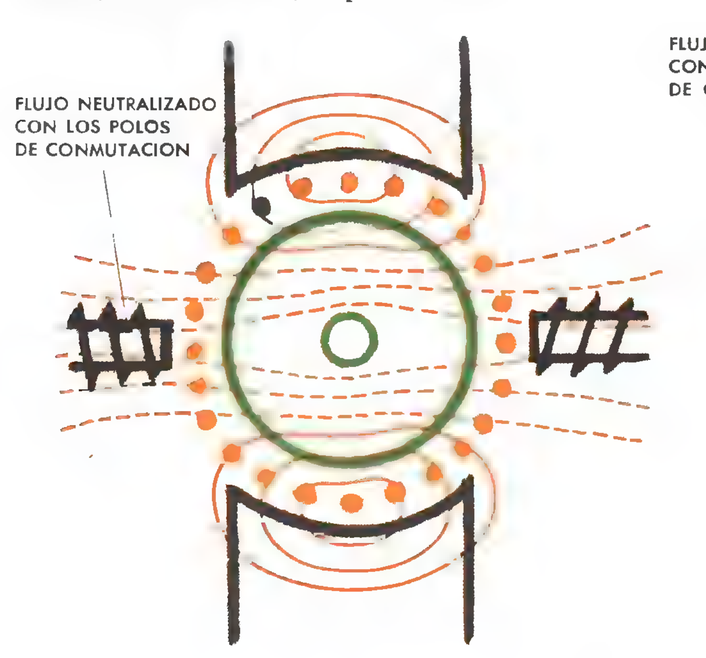
Este es el efecto final de la reacción de inducido: alterar el curso del campo inductor.

POLOS DE CONMUTACION Y DEVANADOS DE COMPENSACION

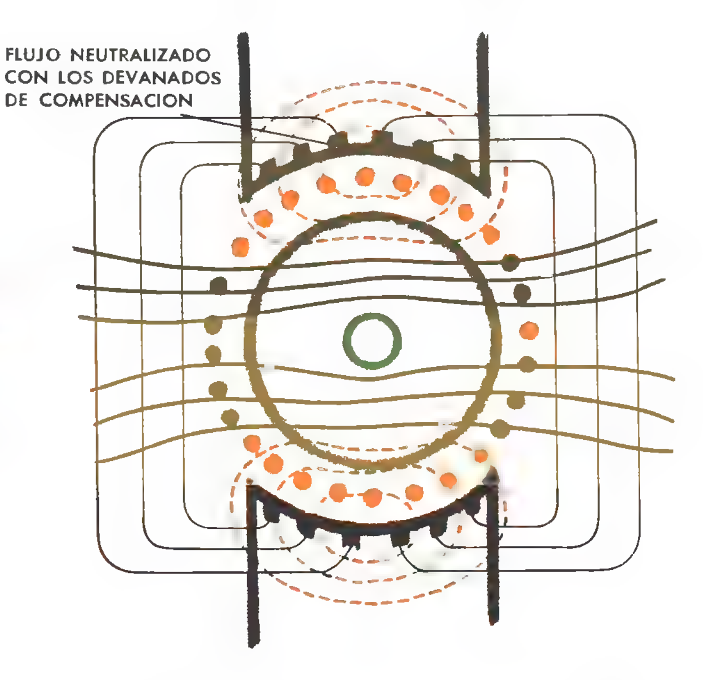
Para evitar los inconvenientes citados se han creado dos dispositivos electromagnéticos, que son los POLOS DE CONMUTACIÓN y los DEVANADOS DE COMPENSACIÓN.

Los polos de conmutación son dos polos auxiliares que se colocan entre los polos principales y cuya misión es neutralizar parte del flujo del inducido; concretamente, la parte central.

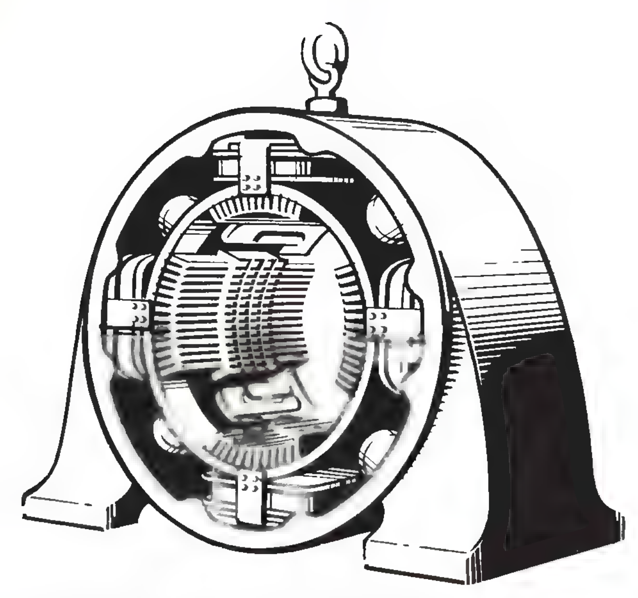
Queda por eliminar la parte superior e inferior del flujo, aquella que produce distorsión en los entrehierros. Si bien esta parte del flujo del inductor es la menos intensa, conviene neutralizarla. Para ello se recurre a los devanados de compensación, que se alojan en unas ranuras practicadas exprofeso en las masas polares.



Los polos de conmutación neutralizan la parte central del flujo creado por el inducido.



El devanado de compensación neutraliza las partes del flujo del inductor que afectan los entrehierros de las masas polares.



La eliminación de los efectos debidos a la reacción del inducido se consigue al colocar ambos dispositivos (polos de conmutación y devanados de compensación) formando parte del conjunto de la dínamo.

Vea el inductor de una dínamo tetrapolar con polos de conmutación y devanados de compensación.

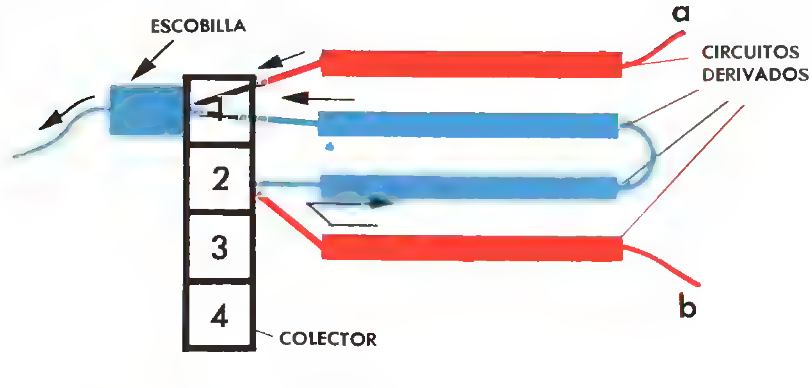
CHISPAS EN EL COLECTOR

Hemos dicho que uno de los efectos de la reacción de inducido era favorecer la formación de chispas en el colector, cuya aparición es una consecuencia natural del fenómeno de la conmutación que, en líneas generales, vamos a describir.

Sabemos que las escobillas tienen la misión de recoger la corriente que se crea en los circuitos derivados del inducido cuando sus conductores atraviesan las zonas influidas por el campo magnético inductor. Esta corriente se recoge a partir de la delga correspondiente. Esta cuestión nos es de sobra conocida.

Veamos en qué consiste el fenómeno de la conmutación por cuya causa aparecen chispas en el colector. Intentaremos explicarlo por medio de una serie de gráficos convencionales en los cuales reducimos la representación gráfica de cada circuito derivado a un simple trazo. Es decir: simplificaremos a un solo conductor lo que en realidad es un circuito derivado. Vea los gráficos y lea los epígrafes que los acompañan.

A la vista de este proceso, lo lógico es pensar que el paso de la delga 2 frente a la escobilla se efectuará sin chispas, puesto que se conmuta un



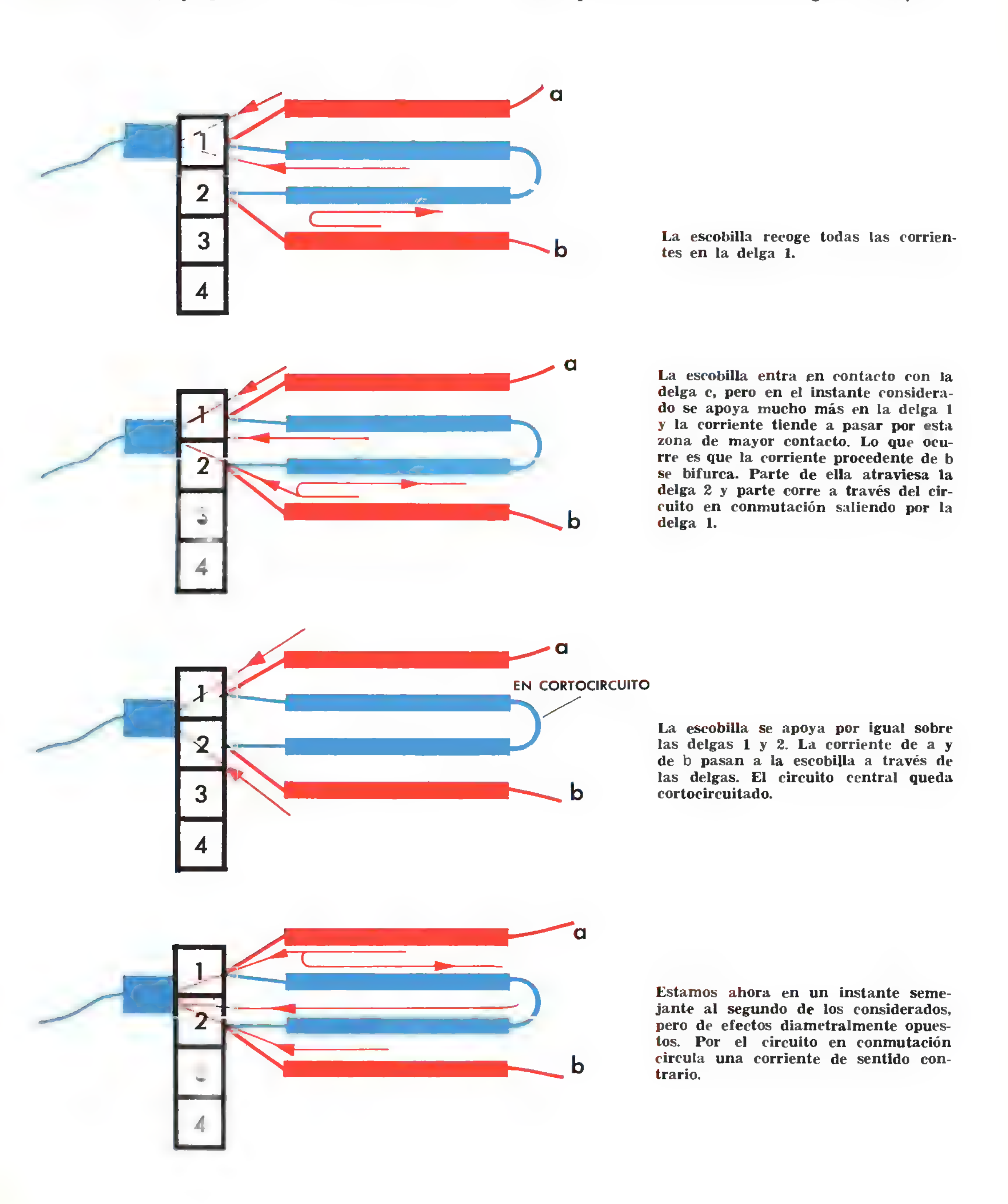
Instante a.
El esquema representa el instante en que la escobilla hace contacto con la delga 1 exclusivamente. La delga recoge la corriente de un circuito derivado cualquiera.



Instante b.
La escobilla está en contacto con las delgas 1 y 2. Uno de los circuitos derivados queda en cortocircuito, por él no pasa corriente.

circuito sin corriente. Sin embargo, la realidad es otra: en mayor o menor proporción, se producen chispas. ¿Por qué?

Ésta es una observación importante: por el circuito en conmutación pasa una *corriente variable* que invierte su sentido según la mayor o



La escobilla recoge todas las corrientes en la delga 1.

La escobilla entra en contacto con la delga c, pero en el instante considerado se apoya mucho más en la delga 1 y la corriente tiende a pasar por esta zona de mayor contacto. Lo que ocurre es que la corriente procedente de b se bifurca. Parte de ella atraviesa la delga 2 y parte corre a través del circuito en conmutación saliendo por la delga 1.

La escobilla se apoya por igual sobre las delgas 1 y 2. La corriente de a y de b pasan a la escobilla a través de las delgas. El circuito central queda cortocircuitado.

Estamos ahora en un instante semejante al segundo de los considerados, pero de efectos diametralmente opuestos. Por el circuito en conmutación circula una corriente de sentido contrario.

menor sección de escobilla que se apoye en las delgas. Esta corriente variable produce fenómenos de autoinducción que ocasionan una extracorriente de ruptura cada vez que la escobilla pasa de una escobilla (la 1 por ejemplo) a la contigua (la 2). Es precisamente esta extracorriente de ruptura la que motiva la aparición de chispas en el colector.

Para eliminarlas se desplazan un poco las escobillas por fuera de su línea teórica. Con ello se consigue que el circuito cortocircuitado esté sometido a un flujo que haga nacer en él una corriente contraria a la corriente de autoinducción que hemos descubierto.

Sin embargo, lo normal es que en el cálculo de dínamos se tenga en cuenta este fenómeno dando al colector las dimensiones convenientes. Así, vemos muchísimas dínamos que funcionan sin chispas sin necesidad de desviar las escobillas.

Hasta aquí lo que concierne al estudio técnico de las partes constitutivas de una dínamo. Desde un punto de vista teórico, tenemos ya una idea muy exacta de la forma de actuar de estos generadores de corriente continua.

Sigamos ahora con el estudio de la dínamo, pero enfocado desde un punto de vista constructivo.

EL INDUCTOR

Llamamos inductor al conjunto de elementos destinados a crear y a canalizar el flujo magnético que induce corrientes en los arrollamientos del inducido. En esencia, el inductor propiamente dicho está formado por dos partes: culata y masas polares.

La culata únicamente sirve de comunicación entre los flujos magnéticos que recorren los polos y por ella sólo circula la mitad del flujo que recorrre las masas polares. No se trata, pues, de una pieza que por fuerza haya de ser de material altamente magnético.

Las culatas de las dínamos pueden ser de hierro, fundición, acero, etc.

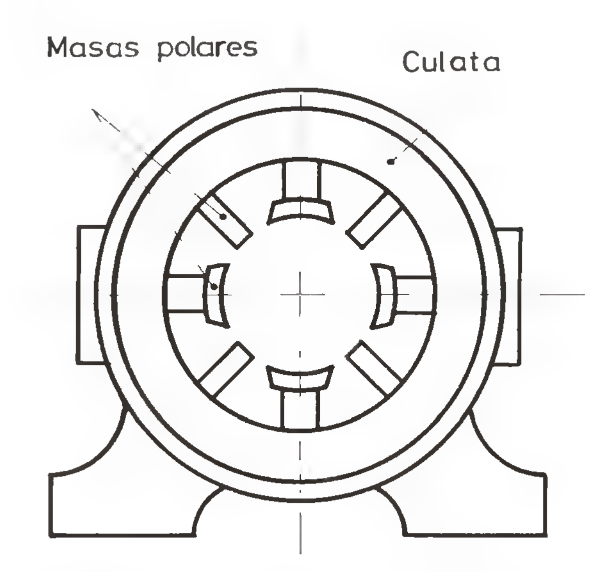
El acero tiene la ventaja de permitir inducciones más altas, lo que permite construir culatas de menor volumen y peso. Para dínamos pequeñas se prefieren culatas de fundición (más económica que el acero) o el acero fundido, dada su facilidad de moldeo y la reducción de peso y volumen que puede representar su mayor inducción magnética.

Las culatas para grandes dínamos, de construcción especial, suelen ser de acero laminado y fabricación soldada.

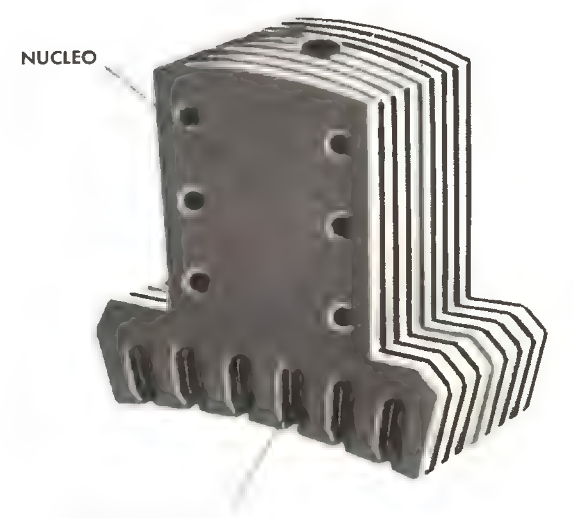
Formando una sola pieza con la culata encontramos los apoyos para el anclaje de la máquina sobre el terreno, así como el asiento de la caja de bornes, de la que hablamos algo más abajo.

En la parte interior de la culata se encuentran los alojamientos preparados para recibir las masas polares o núcleos, que se fijan a ellos por medio de tornillos.

Los núcleos suelen construirse con un empilado de chapa magnética cortada en una o dos piezas. Depende de si la expansión polar del nú-



El inductor está formado por la culata y las masas polares.

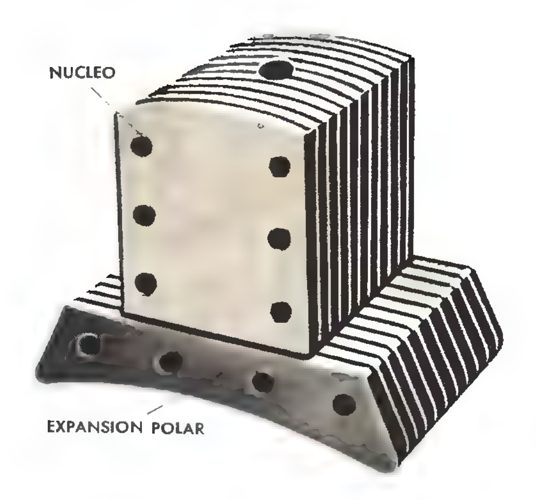


Núcleo de chapas de una sola pieza.

cleo y el núcleo propiamente dicho quedan o no recortados en un mismo tipo de plancha.

En los núcleos de dos piezas es posible que el núcleo propiamente dicho sea macizo. En este caso se le da forma circular, detalle que hace más fácil la construcción de las bobinas.

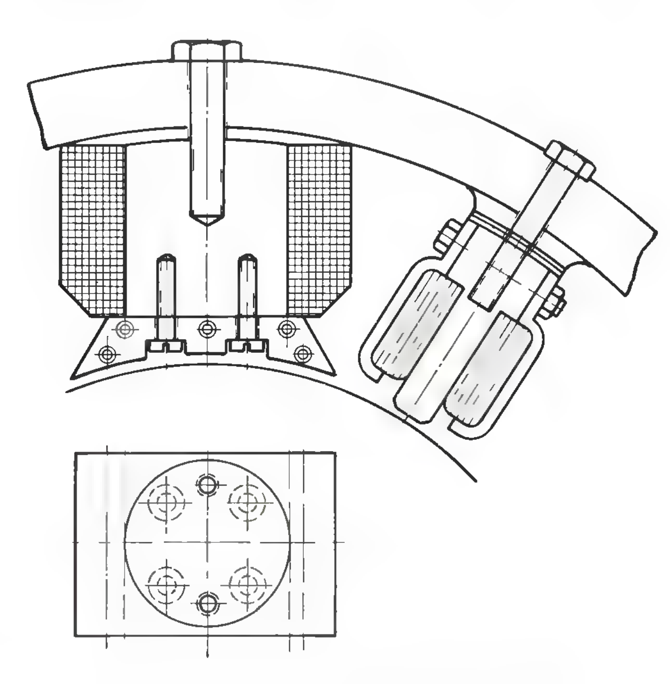
Las expansiones polares, cuando son independientes, se fijan al núcleo por medio de tornillo.



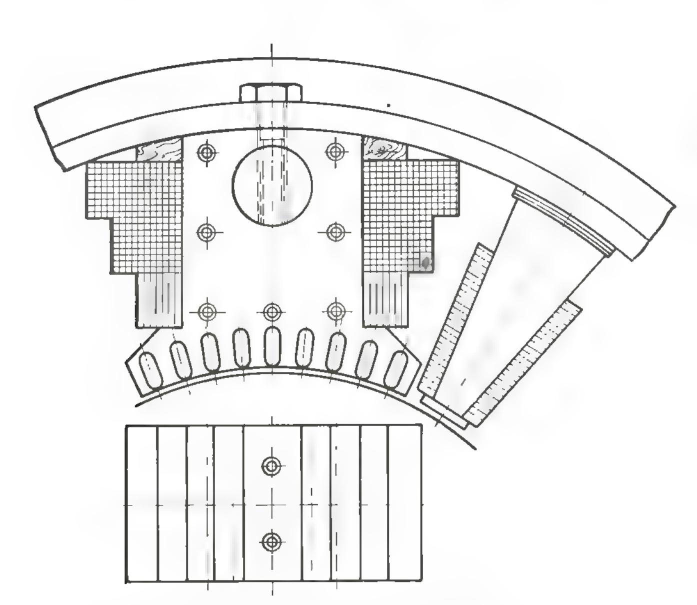
Núcleo de chapas de dos piezas.



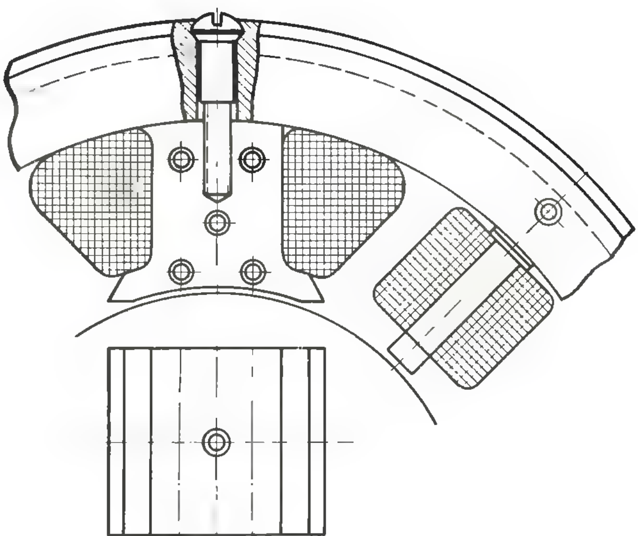
Núcleo macizo con expansión polar de chapa.



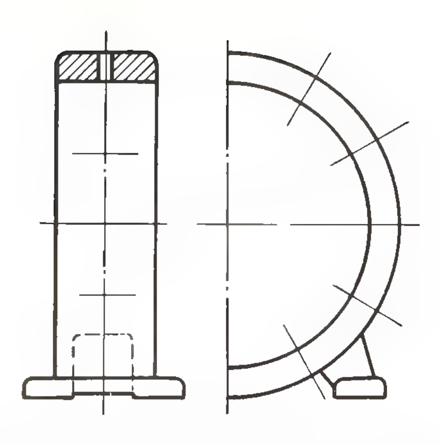
Fragmento del sistema inductor de una gran máquina de corriente continua.



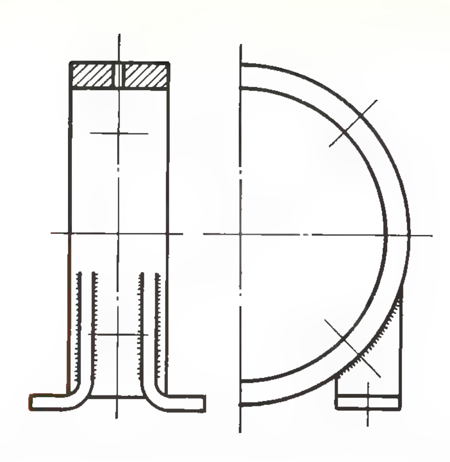
Sistema inductor de una dínamo grande. La pieza polar va provista de ranuras para el arrollamiento de compensación.



Fragmento del sistema inductor de una dínamo de poca potencia.



Culata de fundición para dínamo pequeña.



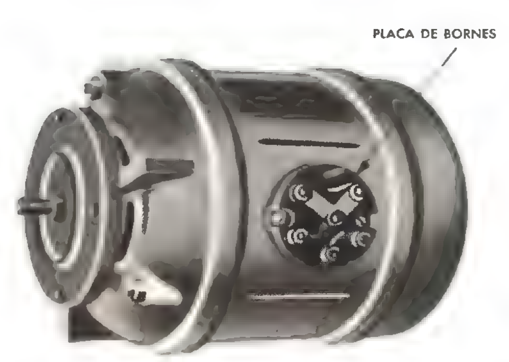
Culata de acero laminado para dínamo pequeña.

Gran culata de fundición, construida en dos partes.

PLACA DE BORNES

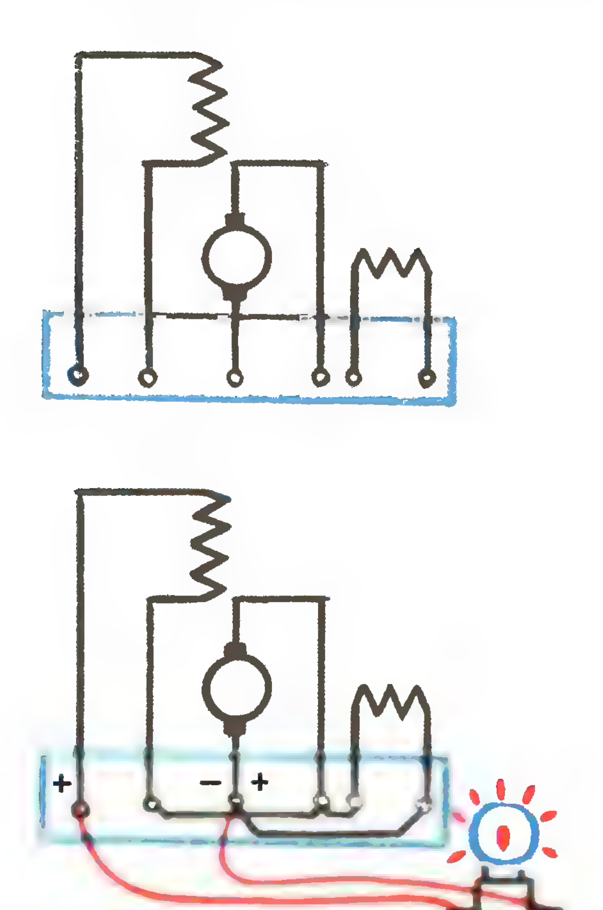
Para su conexión a la red, las dínamos llevan una placa con espárragos roscados donde se establecen las distintas conexiones posibles. Esta placa, llamada PLACA DE BORNES, permite las formas de conexión que se citaron anteriormente; todo depende de cómo se relacionen los seis bornes que normalmente lleva.

Vea estos esquemas que nos sirven de ejemplo.



Caja de bornes.

Dínamo con los seis bornes de su placa de bornes



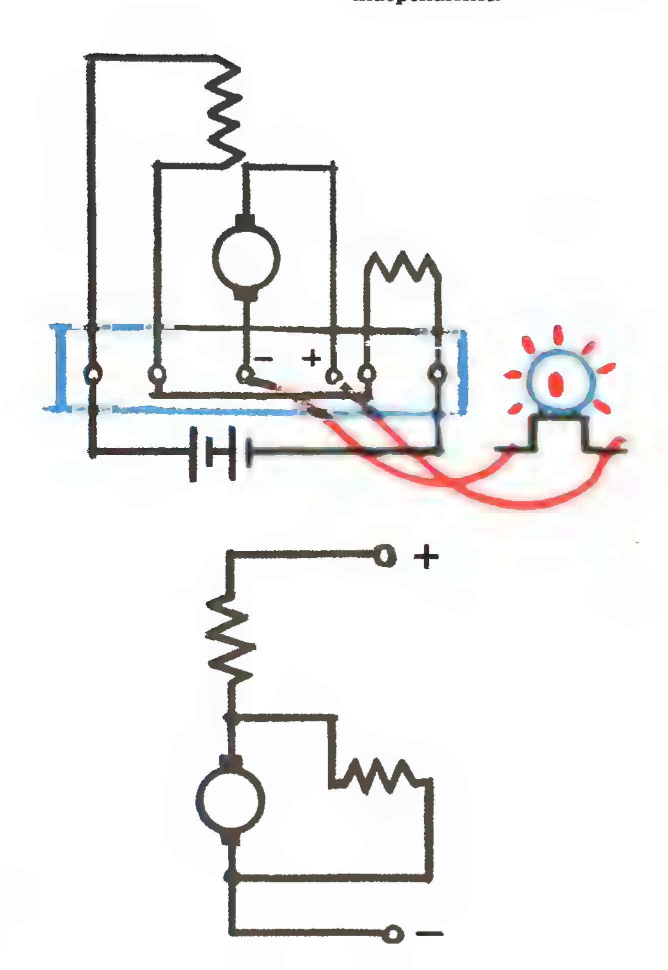
Dínamo compund conexión corta equivalente a una dínamo autoexcitada.

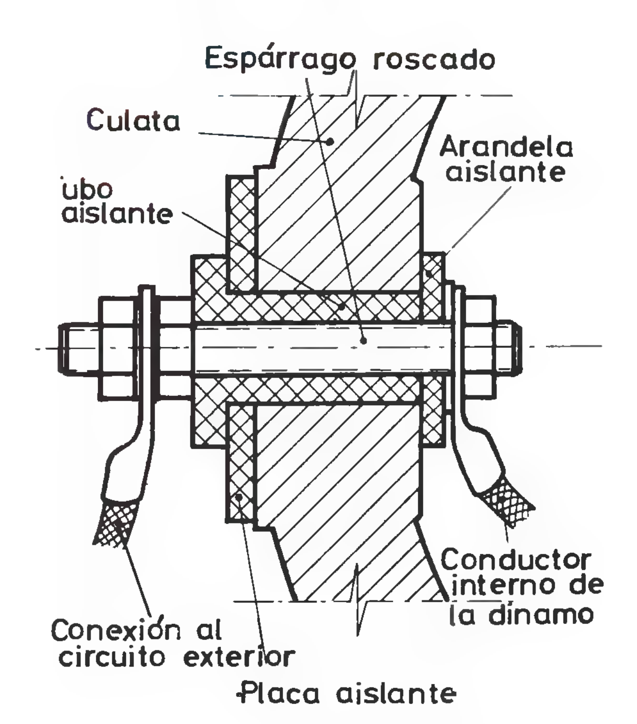
Las formas dadas a estos bornes de conexión pueden ser muy variadas. En síntesis están formados por un espárrago roscado que atraviesa la pared de la culata, de la que se aísla gracias a la protección de un tubo de material dieléctrico. Los extremos exterior e interior de la varilla llevan sendas piezas aislantes, sobre las que se apoyan las tuercas que constituyen el verdadero borne de conexión.

Los espárragos suelen ser de latón y tener un diámetro adecuado a la densidad de corriente que deben soportar.

Para evitar contactos fortuitos, las placas de bornes quedan protegidas por una caja dimensionada con generosidad que, normalmente, se atornilla sobre la misma culata.

Dínamo serie con excitación independiente.





Sección de un borne de conexión para dínamo.

ESCUDO Y PORTAESCOBILLAS

Fijas a la culata, y dando forma externa a la dínamo, encontramos dos tapas o escudos cuya misión funcional es sostener el eje del inducido y el puente que soporta los dispositivos portaescobillas.

La forma de los escudos es variadísima, cosa lógica si consideramos que son las piezas que forman la envolvente de la máquina. Es natural que su plástica (admita la palabra) depende del sentido estético del diseñador y de las tendencias del momento.

En ambas tapas o escudos se alojan los cojinetes que soportan el eje. El escudo correspondiente al lado del colector lleva acoplado el dispositivo que soporta las escobillas.

PORTAESCOBILLAS; éste es el nombre del dispositivo que hemos citado. En él podemos distinguir dos partes esenciales: el collar y el portaescobillas propiamente dicho.

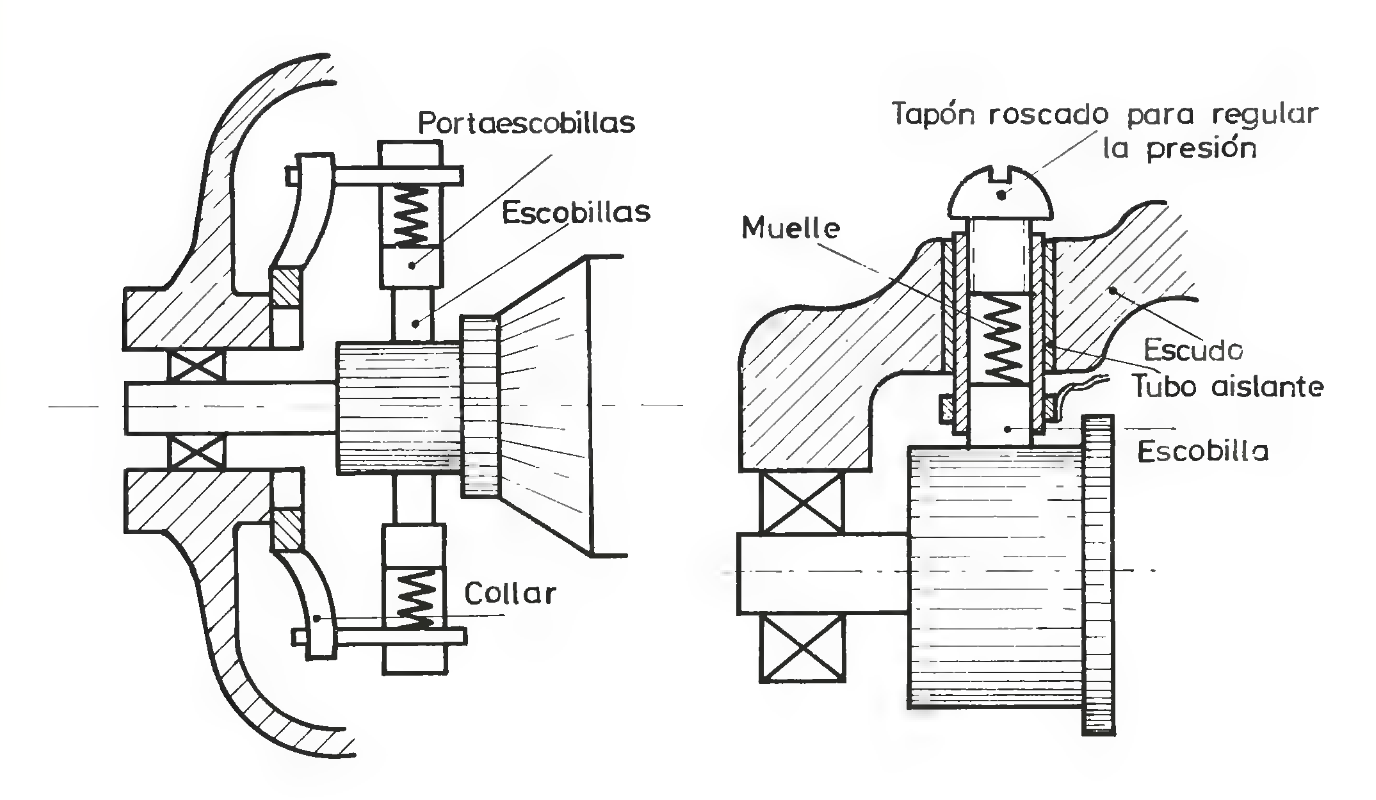
De la situación relativa de estos elementos le informa con mucha claridad el esquema adjunto. Vea que se trata de una representación un tanto convencional, pero que cumple el fin perseguido: demostrar la situación del collar y portaescobillas en relación con el escudo que cubre el colector.

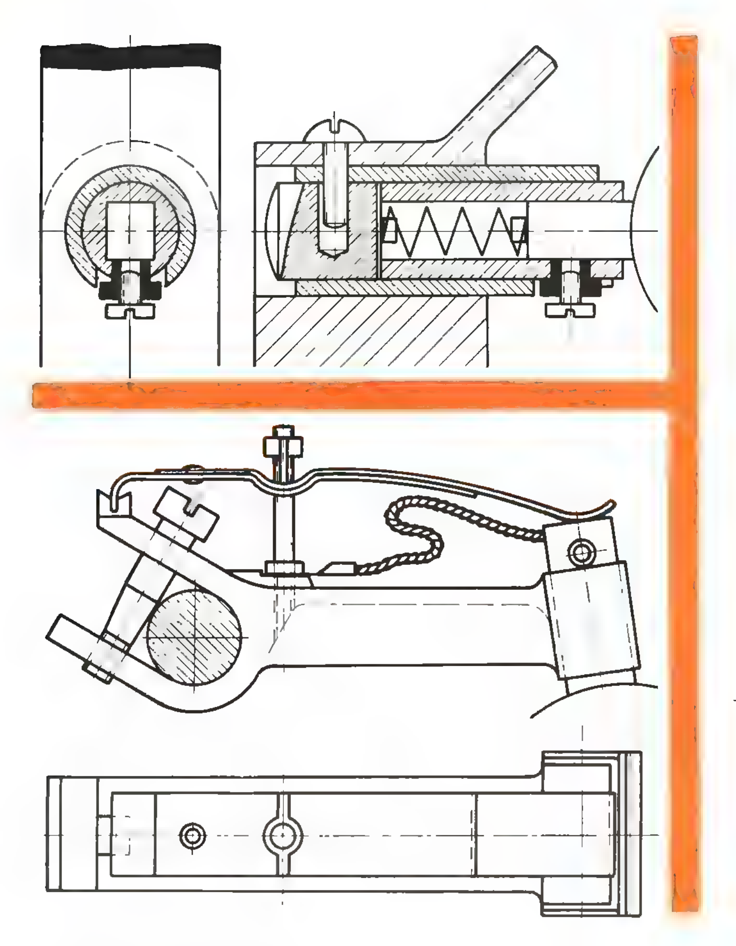
Observe que el collar o puente sirve de apoyo a los portaescobillas. Su forma varía según el tipo de dínamo al que corresponda. Así, en las dínamos que carecen de polos auxiliares, y debido a la distorsión del campo inductor, debe buscarse la posición de las escobillas que resulte más conveniente para facilitar la conmutación; además, esta posición será distinta según la carga. De ahí que el collar o puente sea giratorio para que pueda deslizarse sobre una superficie mecanizada en el interior del escudo.

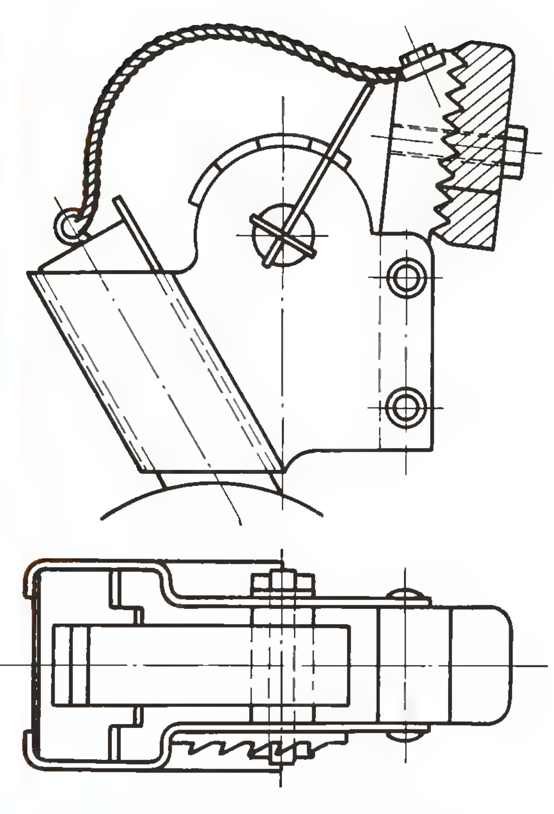
En las dínamos con polos auxiliares y devanado de conmutación las escobillas pueden ser fijas, en cuyo caso el puente es una pieza inamovible e incluso solidaria de la tapa o escudo.

Las pequeñas dínamos tetrapolares carecen de puente; el mismo escudo lleva dos taladros practicados a la profundidad correspondiente al colector y en cuyo interior se ubica la escobilla. Un muelle, cuya compresión puede variar un tornillo que actúa a modo de tapón del taladro portaescobillas, regula la presión de la escobilla sobre las delgas del colector.

Los portaescobillas son dispositivos, muy ingeniosos a veces, destinados a alojar la escobilla en su interior oprimiéndola contra el colector. Llevan también la conexión que relaciona la escobilla con el circuito interior de la dínamo.







1. Portaescobillas para pequeños motores.
2. Portaescobillas tipo radial.
3. Portaescobillas tipo inclinado.

LAS ESCOBILLAS

La escobilla es el agente colector de las corrientes que se crean en el devanado y las transmite al circuito exterior.

Su nombre proviene de la primitiva estructura de este elemento, que no era otra cosa que un mechón de alambre de cobre que barría la superficie del colector como una pequeña escoba; actuaba, realmente, como una escobilla.

El nombre ha quedado; pero su forma en nada recuerda aquella pequeña escoba de antaño, que entre otros inconvenientes contaba el de desgastar rápidamente las delgas del colector.

Se buscaron otros materiales menos duros y con buena conductividad y acabó por llegar el carbón de retorta y el grafito.

Modernamente se han ensayado y se emplean con éxito escobillas formadas por una mezcla de polvo de cobre, grafito y carbón de retorta.

Escoger la escobilla más adecuada a cada caso no es cosa fácil; todo lo contrario, es tarea que requiere múltiples ensayos. Por regla general, cuanto mayor es la máquina más cuidado requiere la elección de las escobillas oportunas para su regular funcionamiento. Es así por cuanto el mayor tamaño de la máquina corre parejo con mayores problemas de conmutación.

Las escobillas suelen ser cuerpos prismáticos de sección rectangular, cuya superficie depende de la intensidad que deba soportar la escobilla. Los constructores acostumbran informar sobre la *capacidad de carga* admisible en cada escobilla. Esta capacidad de carga se da en amperios por centímetro cuadrado.

Vea en esta breve tabla los valores medios de la capacidad de carga según la sección de la escobilla.

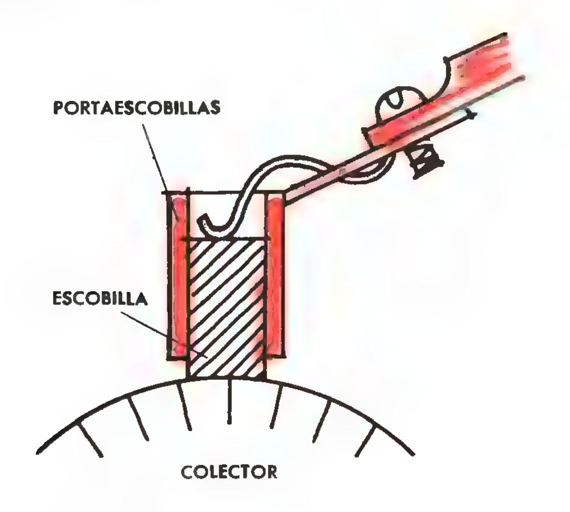
Sección de la escobilla	Capacidad de carga en A/cm.^{2}	
	Escobilla de carbón	Escobilla de cobre y grafito
Hasta 4 cm.^{2}	5	20
De 4 a 8 cm.^{2}	4	16
De 8 a 12'5 cm.^{2}	3	12

Cuando la intensidad es muy elevada (lo que implicaría el empleo de grandes escobillas) se resuelve el problema conectando en paralelo varias escobillas de pequeña sección. Esta solución, empero, tiene unos límites impuestos por las dificultades constructivas y su lógica consecuencia: considerable gravamen económico.

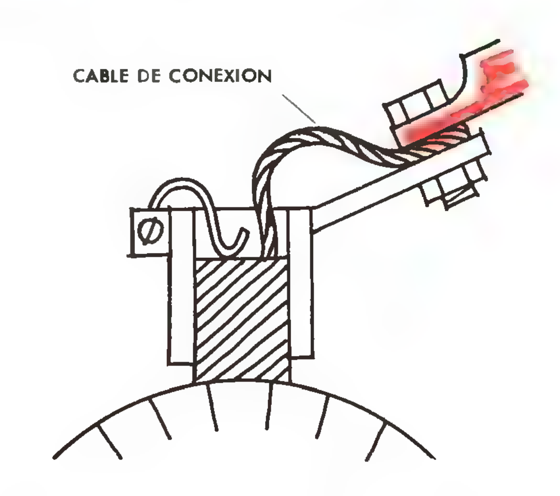
Algunos tipos de escobillas llevan incorporado el cable de conexión, muy flexible para no entorpecer los movimientos longitudinales de las escobillas producidos por posibles irregularidades del colector. Para evitar contactos entre este cable y otras partes metálicas de la dínamo, suele recubrirse con perlinas de porcelana o material refractario.



Escobilla de carbón de sección rectangular.



Escobilla para corrientes débiles. La corriente se transmite a través del portaescobillas.



Para corrientes fuertes, la corriente se transmite casi en su totalidad a través del cable de conexión solidario con la escobilla.

Las escobillas con cable acostumbran emplearse para transmitir corrientes de considerable intensidad. Cuando las corrientes son muy débiles el conductor es el mismo portaescobillas.

Otro detalle: para asegurar un perfecto contacto entre la escobilla y su portaescobilla suele rodearse la primera de una capa de cobre aplicada por medios electrolíticos.

CORRECTA POSICION DE LAS ESCOBILLAS

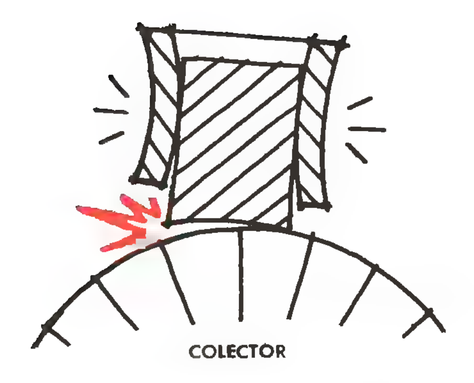
Para el buen funcionamiento de una dínamo es indispensable que las escobillas trabajen en condiciones óptimas, tanto en lo que atañe a su ajuste con el portaescobillas como a su fricción con el colector.

La escobilla debe ajustar perfectamente con las paredes interiores del portaescobillas, de modo que no exista apriete ni tampoco una holgura excesiva.

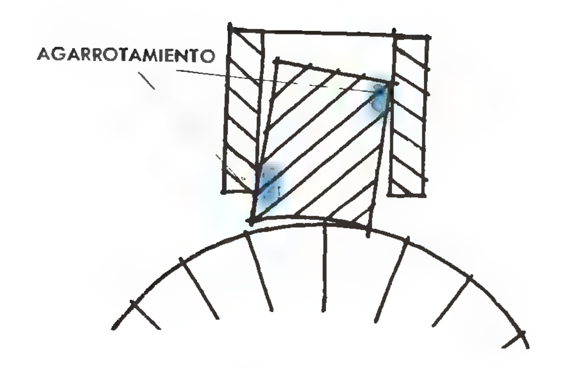
Una escobilla que entre con apriete en el portaescobillas (lo que no permitiría su libre desplazamiento) provocaría contactos defectuosos con el colector; se producirían chispas que lo desgastarían con rapidez.

Una escobilla que penetre con holgura en el portaescobillas pronto ofrecerá dos claras superfices de agarrotamiento.

Para evitar este agarrotamiento se recomienda que la escobilla sobresalga del portaescobillas tan sólo lo que es indispensable para asegurar el con-



Escobilla demasiado apretada con su portaescobillas. El contacto es deficiente y se producen chispas que deterioran rápidamente el colector.



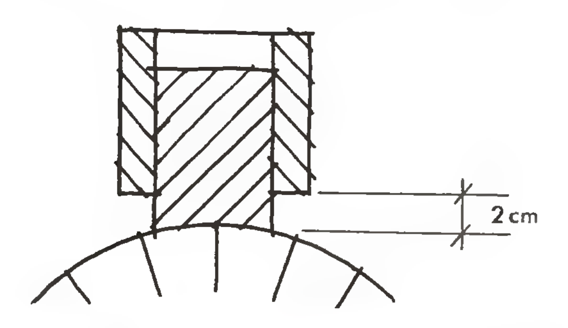
Escobilla demasiado holgada. Puede agarrotarse, lo que provocará su rotura o la repetición del caso anterior.

tacto y los posibles desplazamientos. Por lo general son suficientes dos milímetros de longitud.

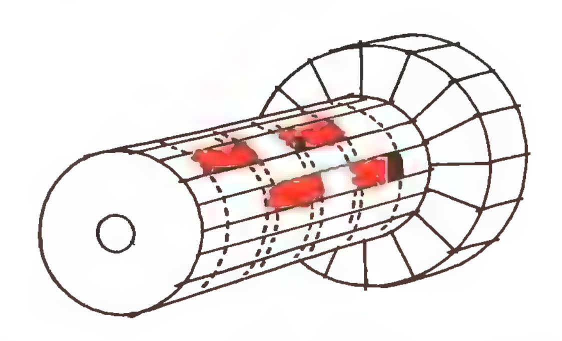
La presión que debe ejercer la escobilla sobre el colector es del orden de 150 gr/cm², presión que debe ser lo más constante que se pueda aun en el caso de que la escobilla haya sufrido ya un gran desgaste. Esta presión se consigue gracias a un muelle que lleva el portaescobillas, como ya hemos dicho.

También hemos hablado de que, en determinadas condiciones, conviene multiplicar el número de escobillas. En estos casos, la lógica más elemental recomienda que unas queden desplazadas de otras en el sentido del eje de la máquina para que el desgaste del colector sea más uniforme.

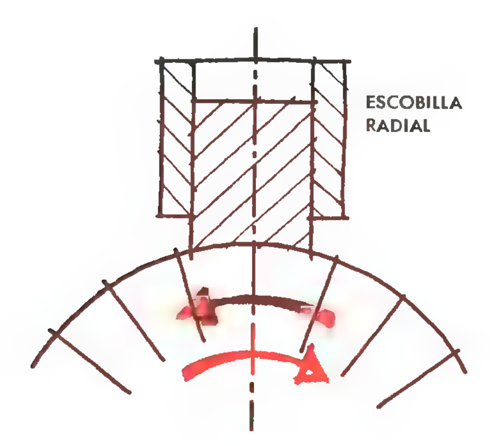
Digamos, finalmente, que la posición de las escobillas respecto del colector puede ser radial (su eje de simetría coincide con un radio del colector) o inclinada (cuando no se cumple la anterior coincidencia geométrica). La posición radial es propia de las máquinas que pueden variar el sentido de su rotación (motores); y la inclinada es propia de máquinas cuyo sentido de rotación es siempre el mismo: dínamos.

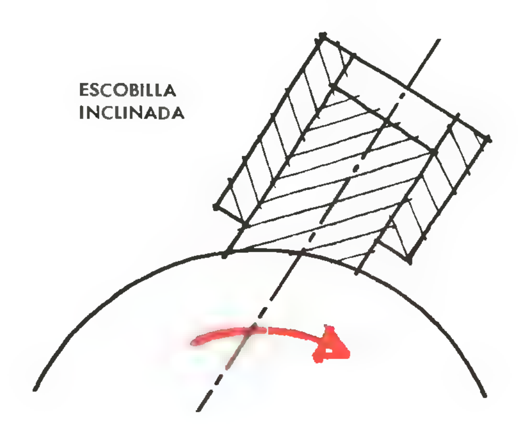


La parte saliente de la escobilla no debe sobrepasar (generalmente) la longitud de 2 mm.



Desplazamiento axial de las escobillas para favorecer un desgaste uniforme del colector.





EL COLECTOR

Tratamos ahora la descripción, desde el punto de vista constructivo, del más delicado elemento de la dínamo, precisamente por la complejidad de su estructura. Nos referimos al colector.

La primera figura de este apartado representa lo que podría ser un colector rudimentario. En teoría no hay nada que objetar; pero ya se comprende que técnicamente no ofrece ninguna garantía, puesto que las escobillas no harían con él un contacto seguido y uniforme, sino que este contacto sería discontinuo; a saltos.

Las delgas modernas son piezas de cobre electrolítico de buena calidad, cuya sección tiene forma de cuña. La yuxtaposición de las delgas cubre toda la superficie cilíndrica que conviene al colector.

Las delgas quedan separadas por una delgada capa de material aislante resistente a altas temperaturas, detalle éste de gran importancia dado que las corrientes de Foucault y las chispas contribuyen a que el colector se caliente muy considerablemente.

El montaje de las delgas debe ser perfecto. Su forma responde de esta necesidad de perfección, que ha forzado a un sistema de fijación realmente ingenioso.

Con los gráficos que forman parte sustancial de esta explicación podrá formarse una idea muy exacta de la complejidad constructiva de un colector moderno. Atención, pues, a los grabados.

En cada delga podemos distinguir las siguientes partes:

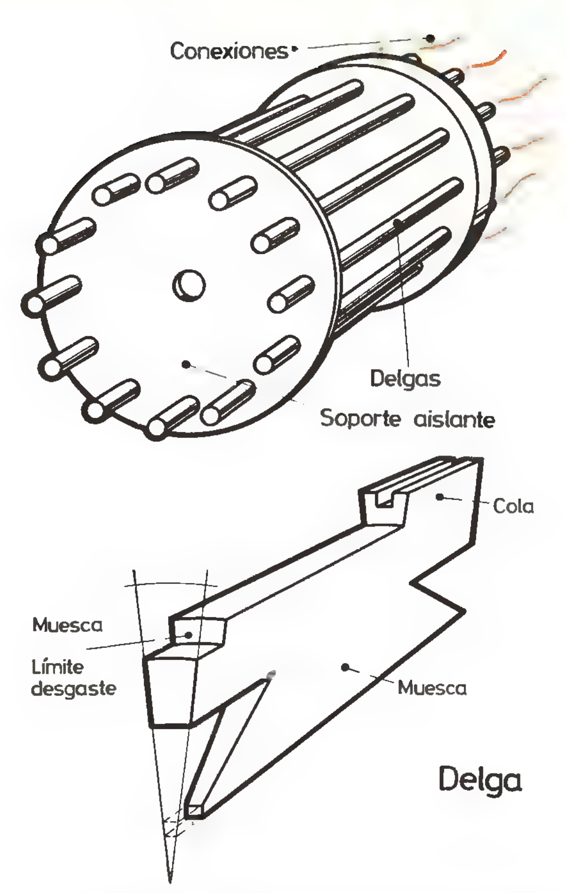
MUESCA. Es la parte inferior, con forma exprofesa para su fijación al tambor, como luego se verá.

COLA. Es una porción posterior saliente que lleva una ranura donde poder soldar los extremos de las bobinas del inducido.

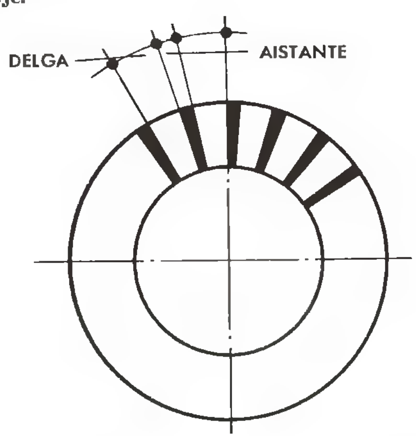
MUESCA LIMITE DE DESGASTE. Está situada en la parte anterosuperior de la delga. No es nada más que una señal con la que el fabricante señala el límite de los torneados sucesivos que deberá sufrir el colector a lo largo de su tiempo de servicio para regularizar su superficie desgastada por el uso.

Algunos fabricantes suprimen la muesca mencionada y señalan el límite de desgaste por medio de un taladro.

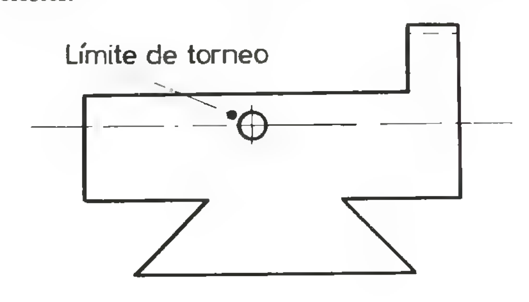
Existen dos tipos de colectores: el axial y el radial.



La conicidad de la delga debe calcularse con absoluta precisión. De ello depende la corrección del montaje.

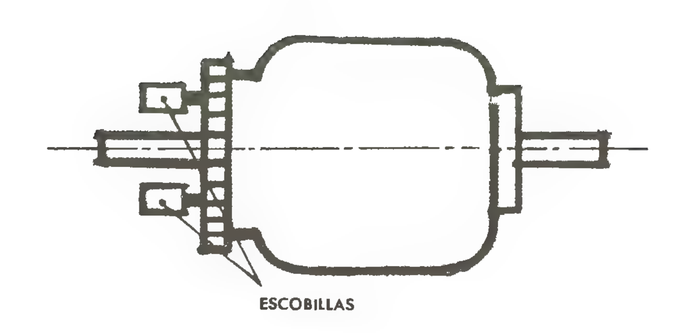


El espesor del aislante entre delgas consecutivas suele ser de 0'5 a 1'5 mm. Depende del tamaño del colector.

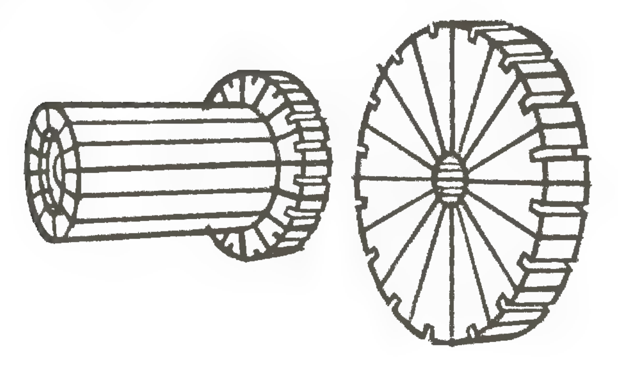


El primero es el más utilizado. Sólo se emplean colectores radiales en aquellos casos en que interesa obtener un inducido lo más corto posible.

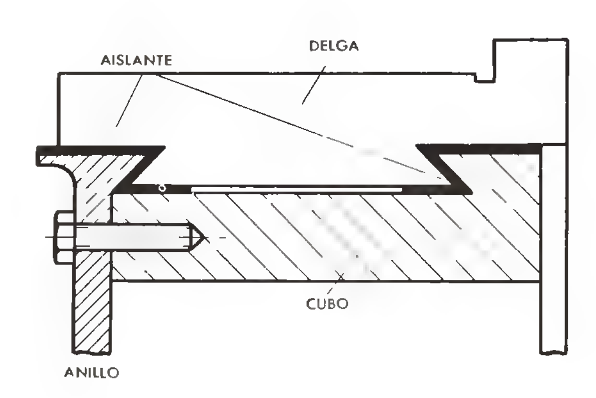
Se comprende que en una dínamo con colector radial las escobillas trabajan en posición horizontal, o sea, perpendicularmente al plano del colector.



Posición de las escobillas en un colector radial.



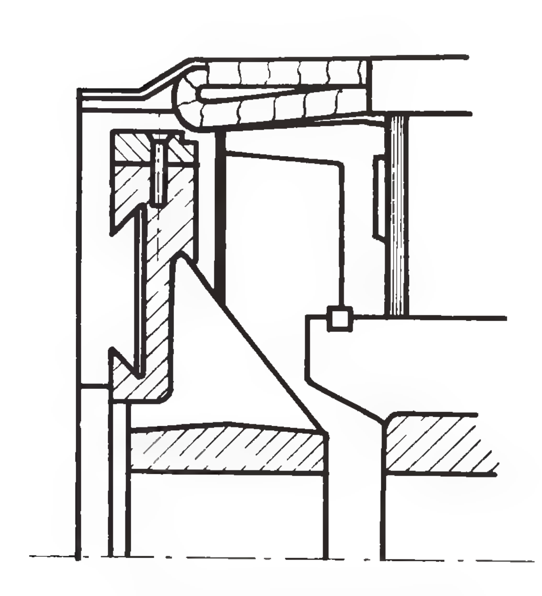
Colector axial. **Colector radial.**



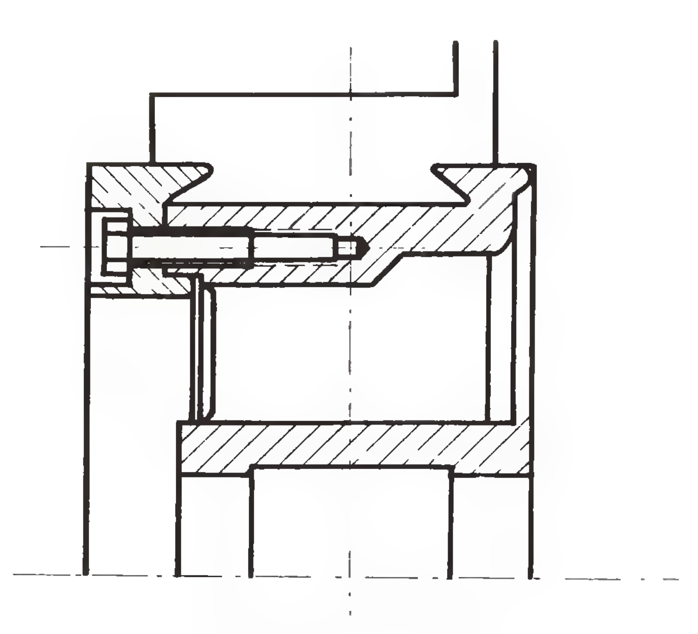
EL MONTAJE DE LAS DELGAS puede efectuarse de varias formas, a gusto del fabricante, aunque la verdad es que todos los sistemas se mueven dentro de unas fórmulas muy parecidas. El montaje queda solucionado prácticamente con dos elementos: *el cubo y el anillo de apriete.*

El cubo sirve para fijar el colector al eje del inducido o al cubo que soporta las planchas magnéticas. El anillo es el elemento que, sujeto al cubo, mantiene fijas las delgas.

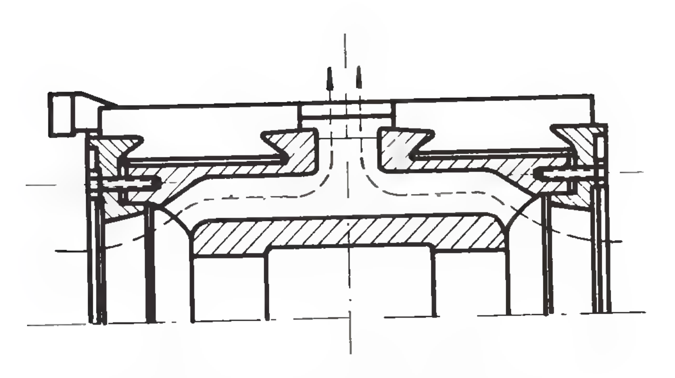
Ilustrando lo que acabamos de decir, vea algunos sistemas de construcción de colectores.



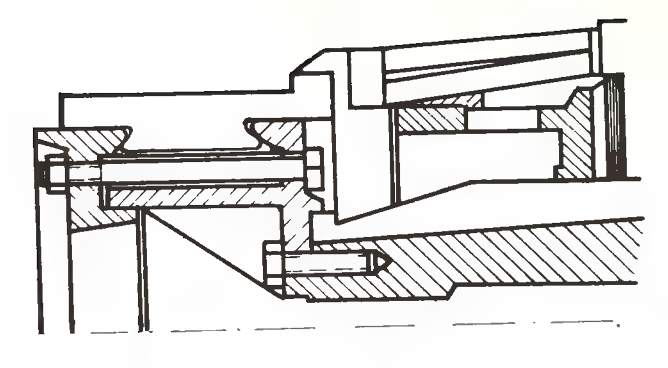
Sección de un colector radial.



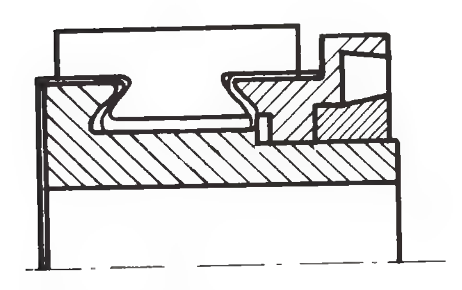
Sección de un colector axial



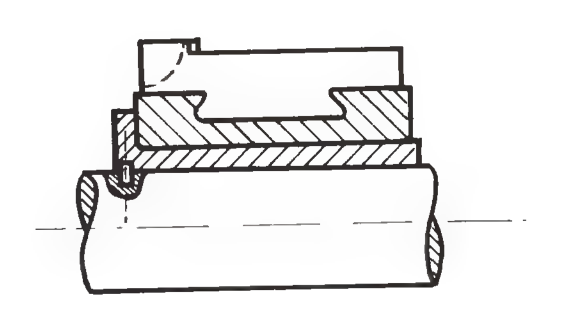
Colector con las delgas partidas (sección).



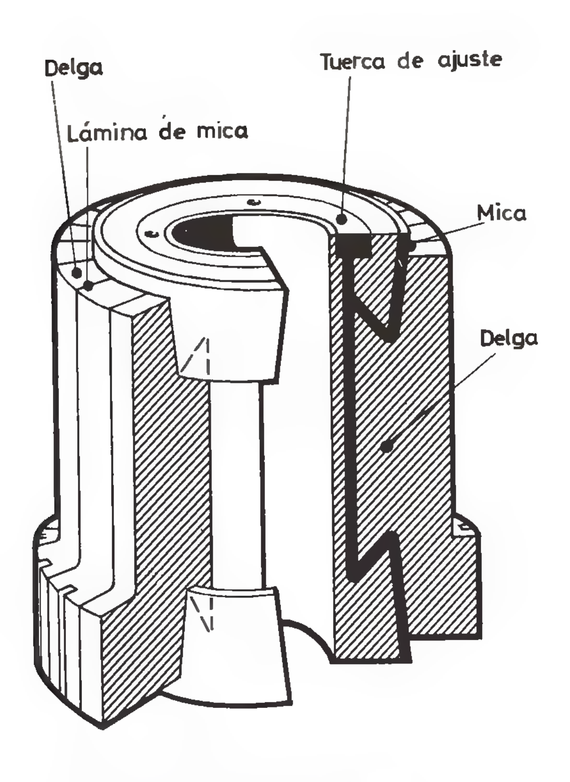
Unión por brida entre colector y cubo.



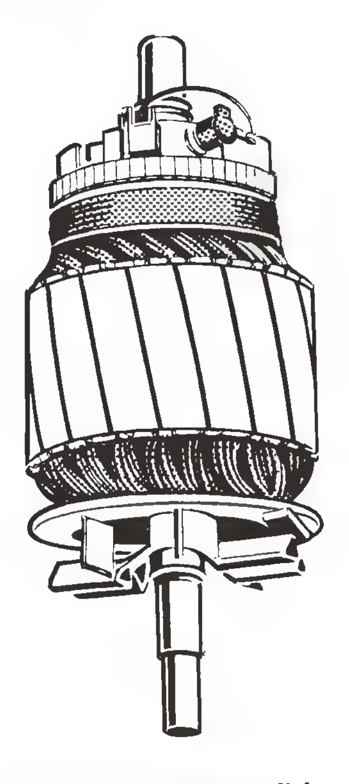
Sección de un pequeño colector.



Pequeño colector con las delgas prensadas sobre una masa aislante.



Estructura general de un colector.

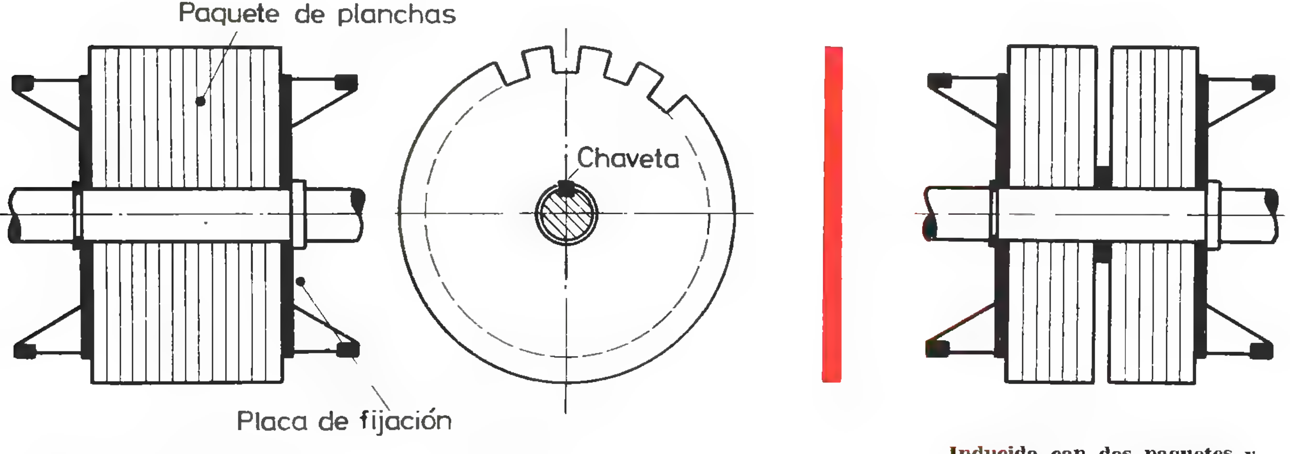


Inducido de colector radial.

EL INDUCIDO

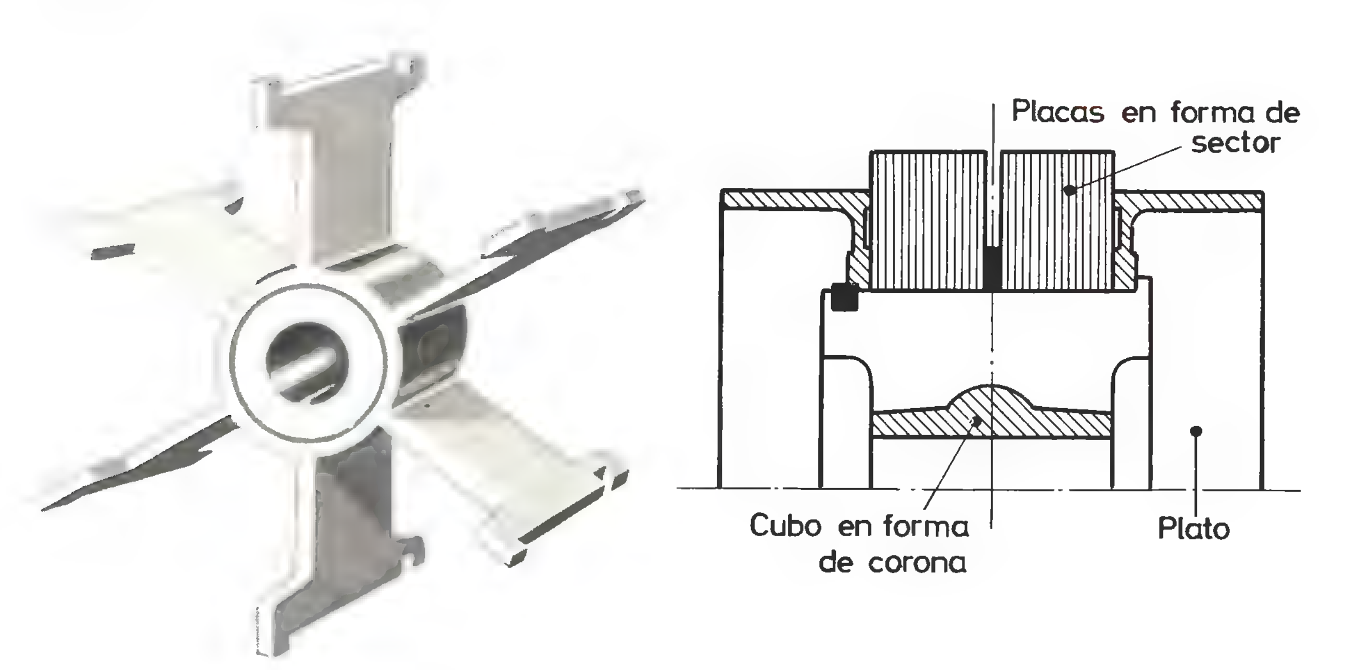
Hemos dicho repetidas veces que el arrollamiento inducido se aloja en las ranuras que tienen las planchas magnéticas que forman el núcleo del inducido; pueden ser enteras o por sectores. Las primeras son las más empleadas; sólo en grandes dínamos se emplean planchas por sectores.

Las planchas se apilan formando un único paquete en dínamos de tamaño pequeño y medio; forman varios paquetes en grandes dínamos, donde se precisan canales de ventilación. Los paquetes se prensan y entran con apriete sobre el eje o sobre el cubo.



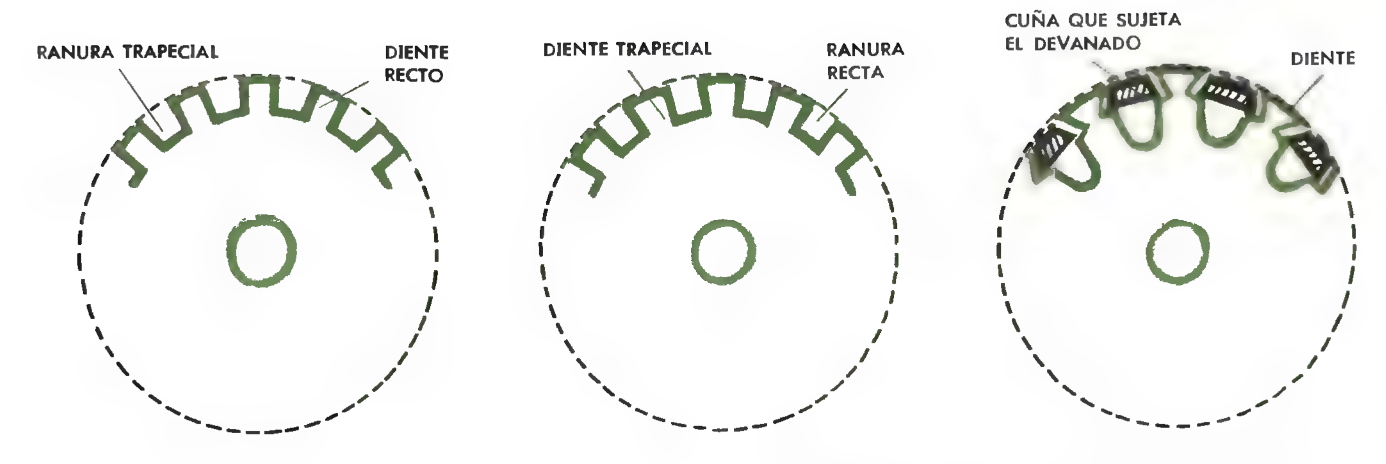
Inducido con un solo paquete sin canales de ventilación.

Inducido con dos paquetes y un canal de ventilación.

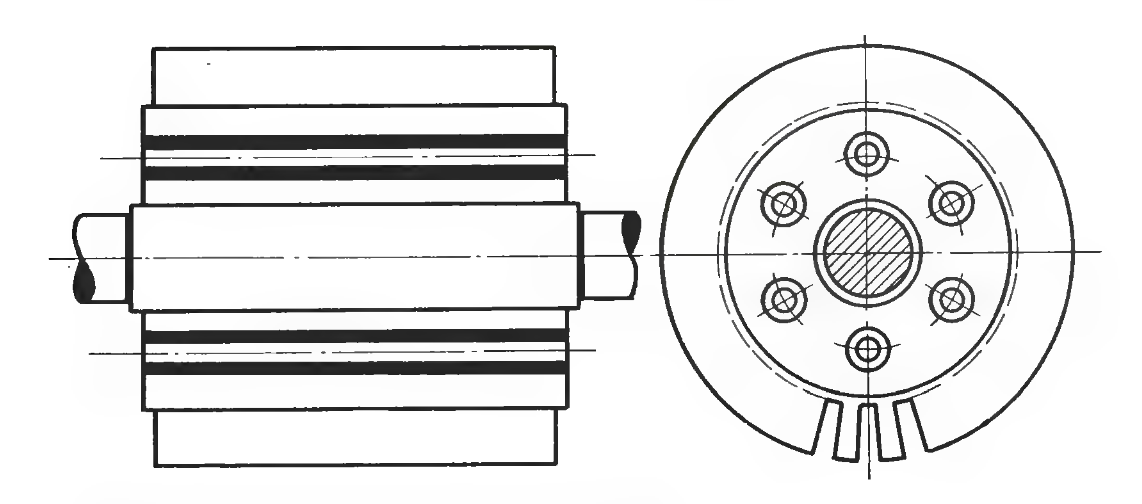


En ambos extremos del empilado se colocan sendas placas que mantienen el paquete suficientemente apretado. Cuando la dínamo es de gran tamaño, el inducido está formado por sectores de plancha que se montan sobre un cubo de acero, fundido o laminado, con brazos en estrella.

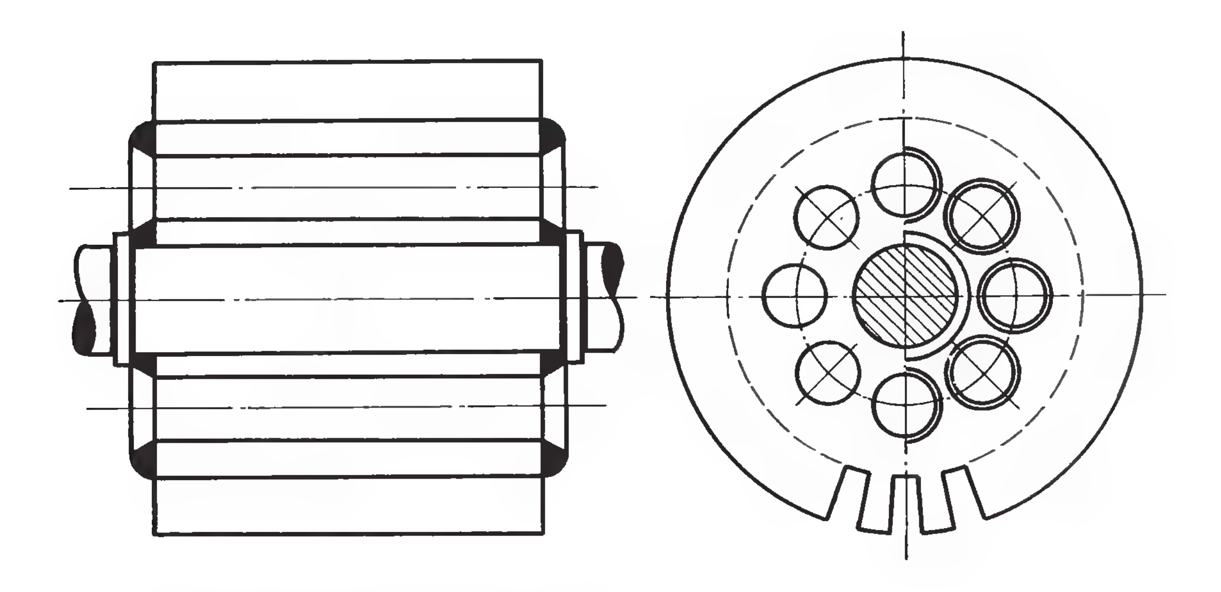
En cuanto a la forma que pueden tener las ranuras de las planchas, ya vimos anteriormente cuáles eran las más convenientes. Sin embargo, nada se pierde con repetirlo: ranura trapecial con diente recto y ranura recta con diente trapecial.



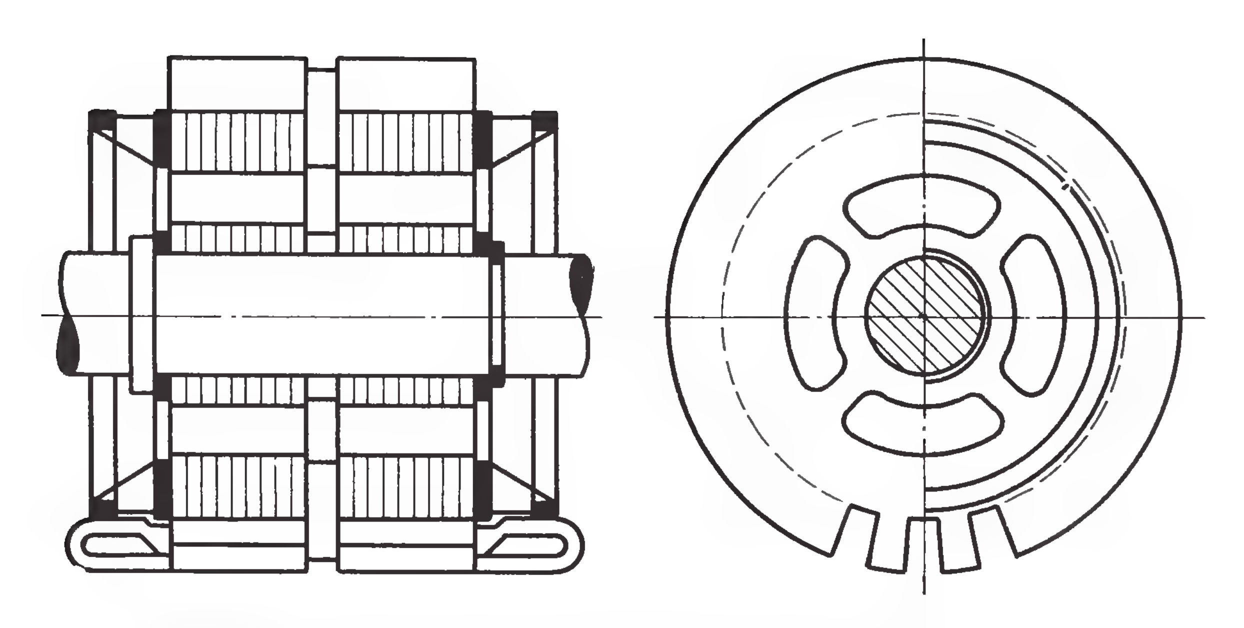
Dientes con hendiduras para la sujeción de los devanados.



Inducido para pequeña máquina de corriente continua.



Inducido con canales axiales de ventilación.



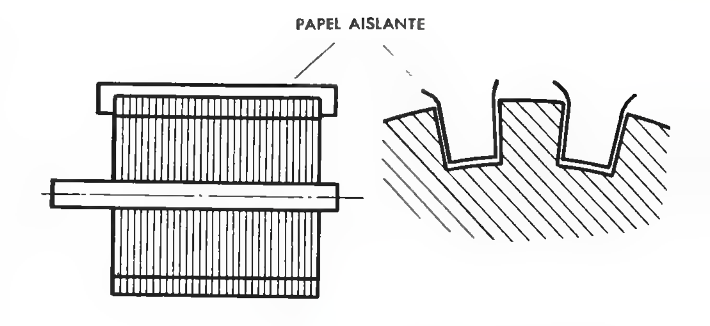
Inducido con canales de ventilación axiales y radiales (máquina de mediana potencia).

Inducidos para grandes dínamos.

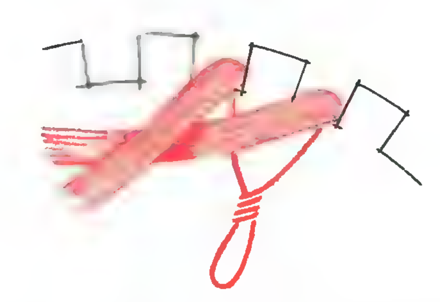
Los DEVANADOS pueden hacerse a mano, bien sea devanando las bobinas directamente sobre el inducido, bien sea haciendo aparte las bobinas y colocándolas después en las ranuras correspondientes. El bobinado directo sólo es posible cuando la dínamo es pequeña y el inducido puede manejarse con facilidad.

Las bobinas pueden devanarse a mano o a máquina.

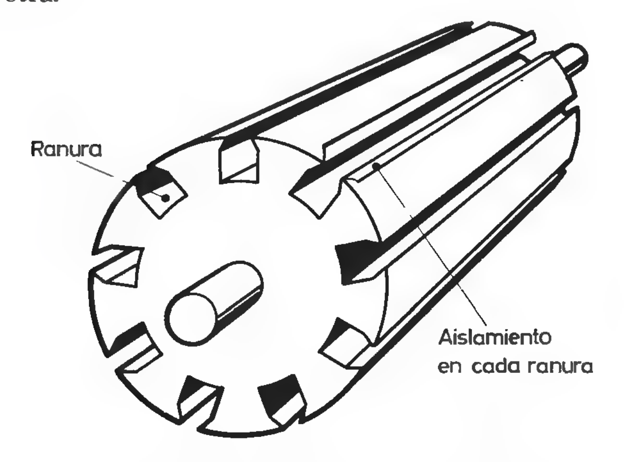
Tanto si se bobina directamente sobre el inducido como si se hacen bobinas independientes, antes de su ubicación en las ranuras deben cubrirse éstas con papel aislante de modo que sobresalga cuestión de cinco milímetros de las mismas. Deberá tenerse la precaución de marcar la entrada y la salida de cada bobina. Lo que no hace falta es cortar los extremos: basta con practicar un bucle cada vez que se termina una bobina y empezar otra.



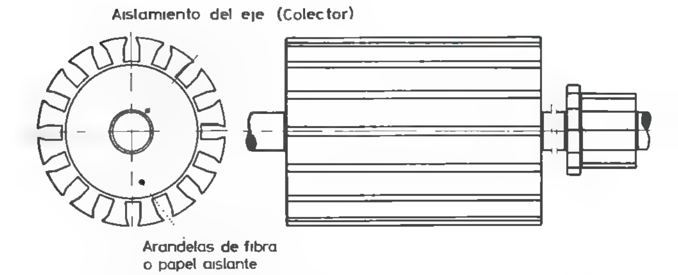
Las ranuras deben cubrirse con papel aislante.



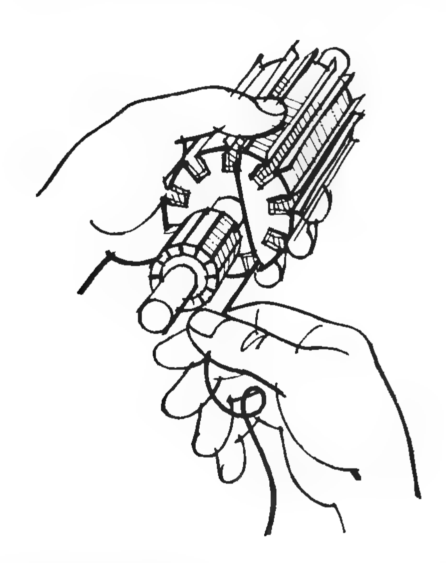
Bucle de principio y fin de bobina que luego se une al colector.



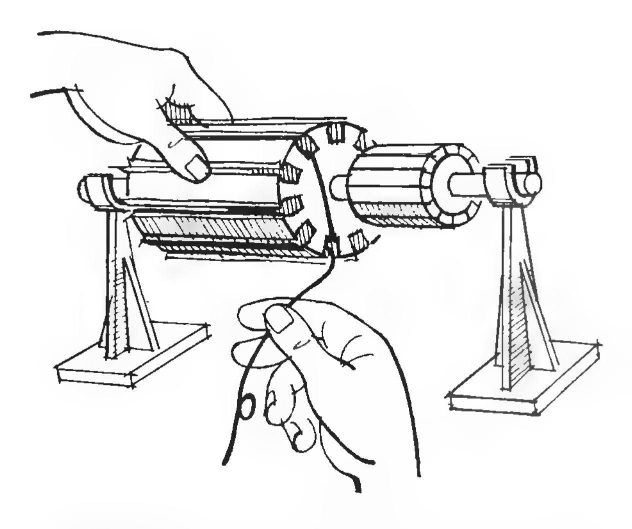
Aislamiento en las ranuras del inducido.



Arandelas de fibra o papel protegen los arrollamientos de posibles contactos a masa.



Los inducidos pequeños se bobinan de forma completamente manual.



Inducido apoyado sobre caballetes para proceder a su devanado.

Bucle I
Hilo de partida
Ranura 1
1.º bobina

2.º bobina
Ranura 2
Bucle I
Bucle 2
Hilo de partidɿ
1.º bobina

3.º bobina
Ranura 3
Bucle 2
Bucle 3
Bucle I
Hilo de partida

4.º bobina
Ranura 4
Bucle 3
Bucle 4
Bucle 2
Bucle 1
Ranura I
Hilo de partida

5.º bobina
Ranuro 5
Bucle 4
Bucle 5
Bucle 3
Bucle 2
Bucle 1
Hilo de partida

6.º bobina
Ranura 6
Bucle 5
Bucle 6
Bucle 4
Bucle 3
Bucle 2
Bucle I
Hilo de partida

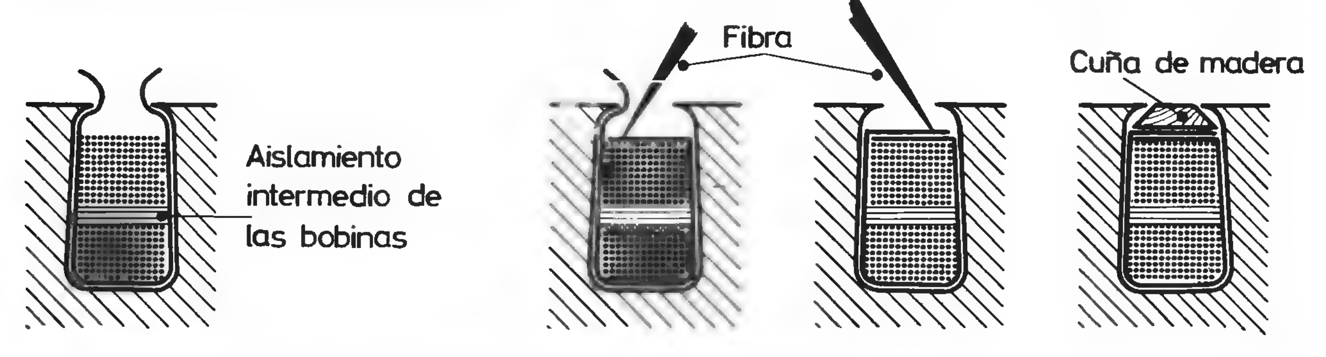
7.º bobina
Ranura 7
Bucle 6
Bucle 7
Bucle 5
Bucle 4
Hilo de partida
Bucle 3
Bucle 2
Bucle I

8.º bobina
Ranura 8
Bucle 7
Bucl^e 8
Hilo de partida
Bucle 6
Bucle 5
Bucle 1
Bucle 4
Bucle 2
Bucle 3

9.º bobina
Ranura 9
Ran. bob. 8.º
Bucle 8
Bucle 9
Ran. bob. 1.º
Bucle I
Bucle 7
Ran. bob. 7.º
Ran. bob. 2.º
Bucle 6
Bucle 2
Ran. bob. 6.º
Ran. bob. 3.º
Bucle 5
Ran. bob. 5.º
Bucle 3
Bucle 4
Ran. bob 4.º

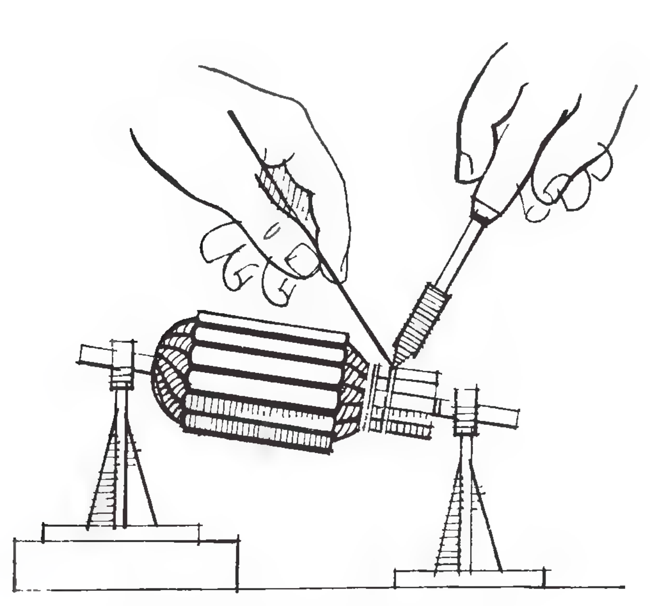
Ilustración del proceso del devanado de un inducido.

Una vez terminado el devanado se doblarán los papeles aislantes de forma que cubran los hilos situados en las ranuras. Si procede se colocarán cuñas de cartón, madera o caña en cada ranura a fin de mantener bien apretados los hilos de las bobinas.

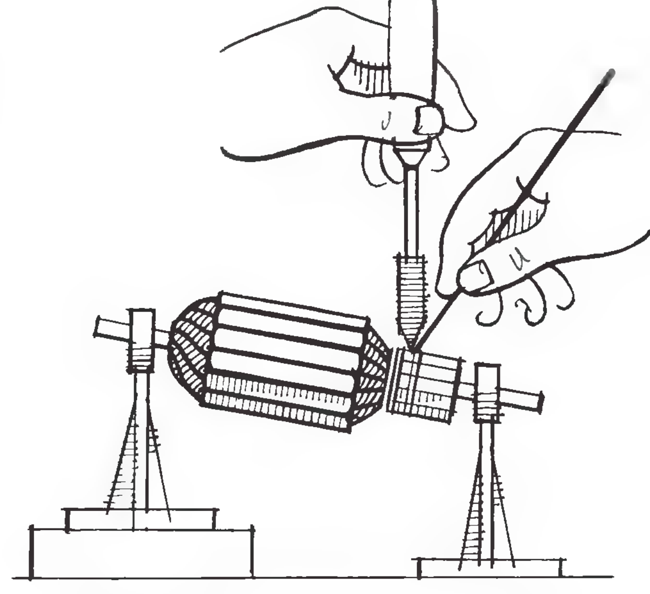


Terminado el devanado se pliega el papel aislante y se cierra la ranura.

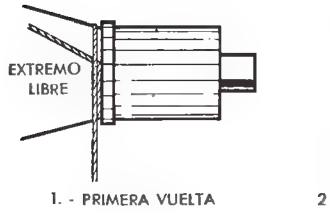
La siguiente operación consiste en soldar los extremos de las bobinas a las muescas de las delgas del colector. Estas conexiones que van desde la bobina al colector se cubren con un bobinado de cordel practicado en el sentido de la rotación del eje. Esta protección se barniza con goma laca.



Soldando terminales a las delgas

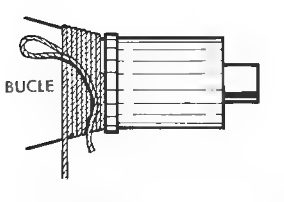


Posición vertical del soldador cuando existe peligro de cortocircuitar dos delgas por deposición de estaño entre ellas.

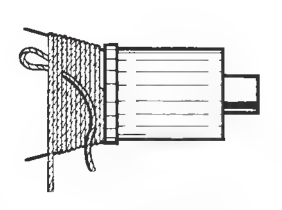


1. - PRIMERA VUELTA

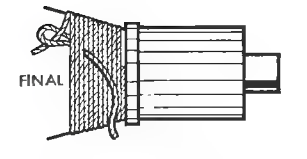
2 - OCHO VUELTAS DE CUERDA



3. - FORMACION DE UN BUCLE CON EL EXTREMO LIBRE



4. - VARIAS VUELTAS SOBRE EL BUCLE



5. - EL FINAL DE LA CUERDA SE PASA POR EL BUCLE Y SE CIERRA TIRANDO DEL EXTREMO

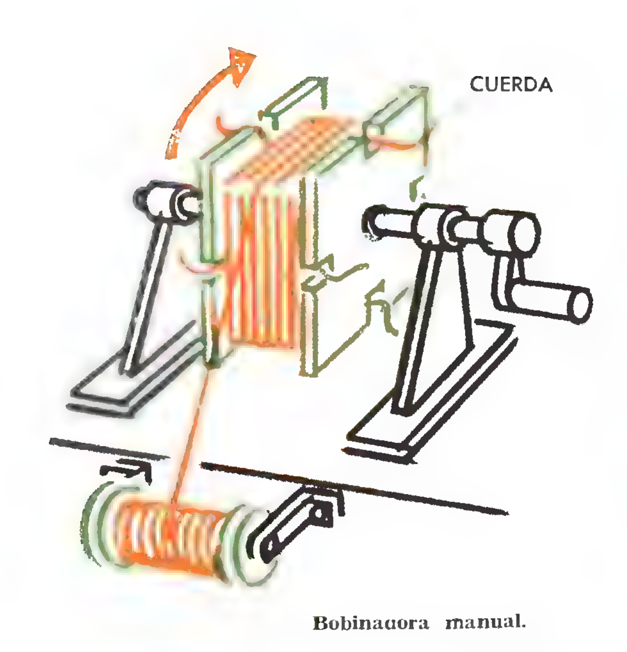
Sujeción con cuerda de los extremos de las bobinas.

Cuando el bobinado se efectúa construyendo las bobinas por separado se procede mediante moldes de madera, que dan a la bobina la forma y dimensiones calculadas de acuerdo con las medidas del inductor y tipo de devanado.

Estos moldes están formados por un núcleo y dos tapas que lo aprisionan. El molde se coloca en una máquina bobinadora (manual o mecánica), que le imprime un movimiento de rotación con el cual arrastra el hilo que suministra un carrete.



Elementos de un molde para bobinas.



Bobinadora manual.

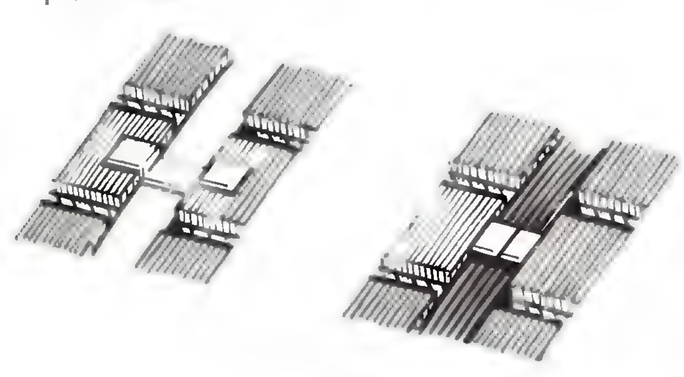


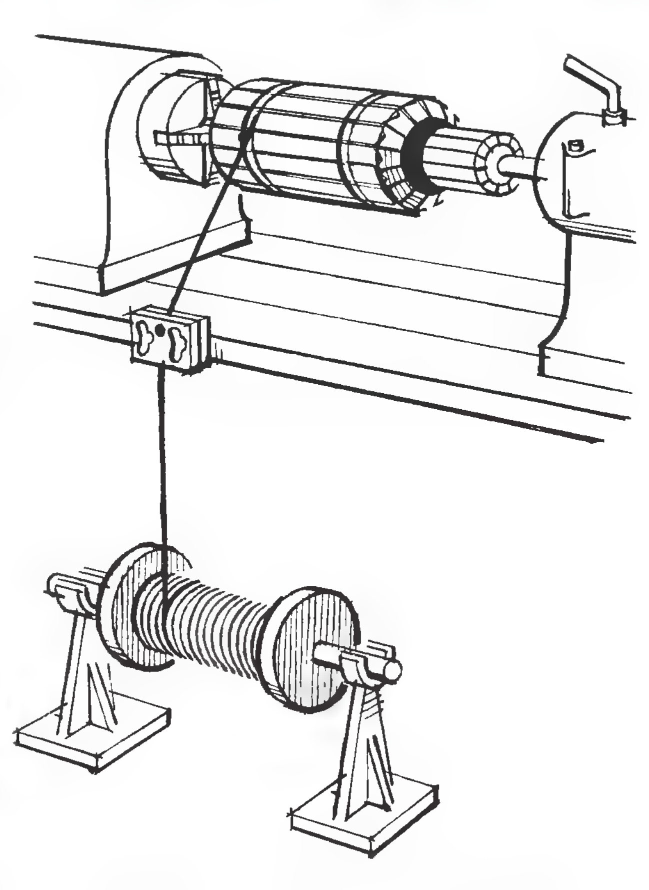
Bobinadora eléctrica.

Las ranuras practicadas en las tapas de los moldes, que alcanzan el límite del núcleo, sirven para introducir sendos trozos de cordel con que atar los hilos de la bobina una vez terminada.

Si las condiciones técnicas así lo requieren, las bobinas se encintan con tiras de algodón o con otro material idóneo; se barnizan y secan a estufa para su posterior colocación en las ranuras del inducido.

En dínamos de gran tamaño, una vez colocadas las bobinas y las cuñas de madera, se procede a una operación llamada de zunchado que consiste en la colocación de unos cinturones o zunchos bobinados con alambre de acero en unas ranuras transversales a las que alojan las bobinas que se han practicado en los extremos del inducido. Estos zunchos tienen la misión de evitar que la fuerza centrífuga a que se ven sometidas las bobinas (muy considerable en las grandes dínamos) pueda desprenderlas.





Zunchado de un inducido con alambre de acero.

COJINETES O RODAMIENTOS

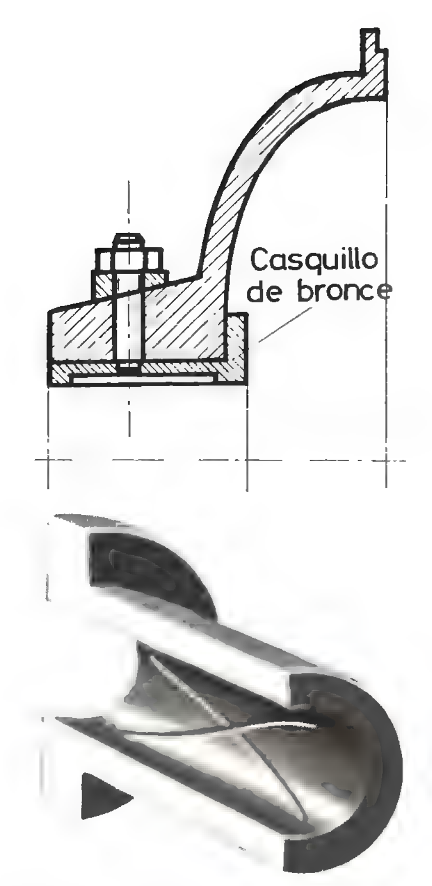
Queda por ver una parte puramente mecánica, pero fundamental en toda máquina giratoria: los rodamientos o cojinetes que constituyen el apoyo del eje del inducido y le permiten girar libremente con el mínimo de rozamiento.

Antiguamente (y aún hoy en día en máquinas pequeñas) se utilizaban los llamados casquillos de bronce, que en máquinas de cierto tamaño se han sustituido por rodamientos de bolas o rodillos. En ambos casos se alojan en el cubo de las tapas de la dínamo.

Los cojinetes de bronce son unos casquillos de este metal con su superficie interior perfectamente pulida y rectificada. Estos casquillos entran con apriete en el cubo de las tapas.

En el interior del casquillo se practican unas ranuras con salida al exterior, llamadas *de salida de engrase.*

En grandes dínamos se utilizaron mucho los casquillos de engrase continuo, que llevaban un anillo en contacto con el eje y que iba subiendo el aceite desde un depósito inferior.



Casquillo de bronce partido en el que se aprecian las ranuras de salida de grasa.

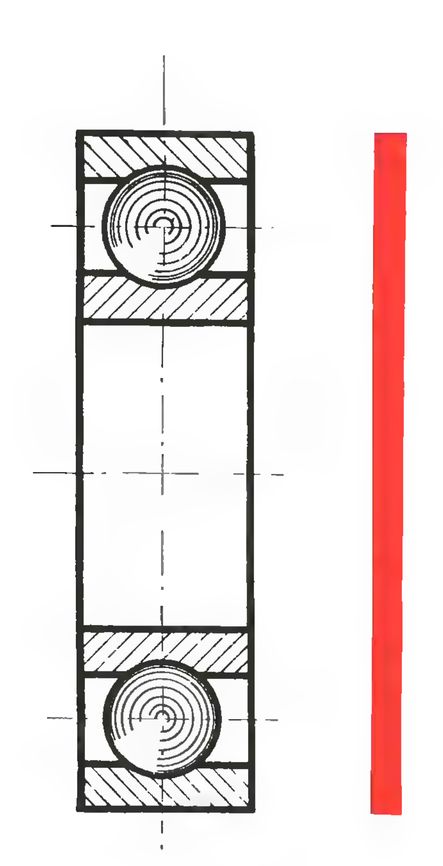
Casquillo con anillo de iubricación

Hoy en día se utilizan casi en exclusiva los cojinetes de bolas o rodillos: los primeros para dínamos pequeñas y los segundos para las de mayor tamaño.

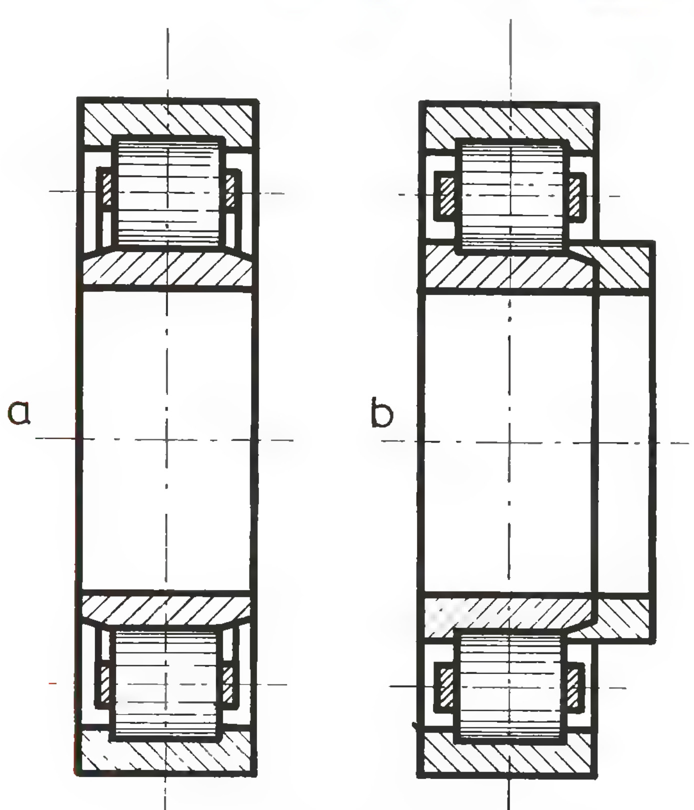
No pretendemos hacer una descripción detallada de los distintos tipos de cojinetes, cosa más propia de un manual de mecánica que de un tratado sobre electricidad. Sin embargo, creemos que los gráficos y comentarios que añadimos le darán una idea muy exacta de la naturaleza y colocación de estos elementos mecánicos.

Los cojinetes más utilizados son los rígidos de una hilera de bolas, que además de fuertes cargas





Cojinete rígido con una hilera de bolas.



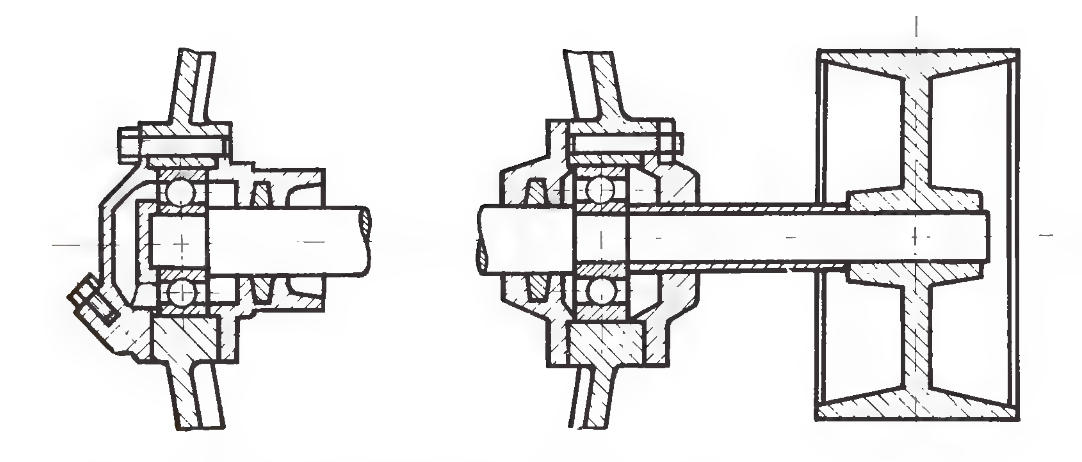
Cojinete de rodillos. a. Desplazable. — b. Rígido.

radiales pueden soportar considerables esfuerzos axiales.

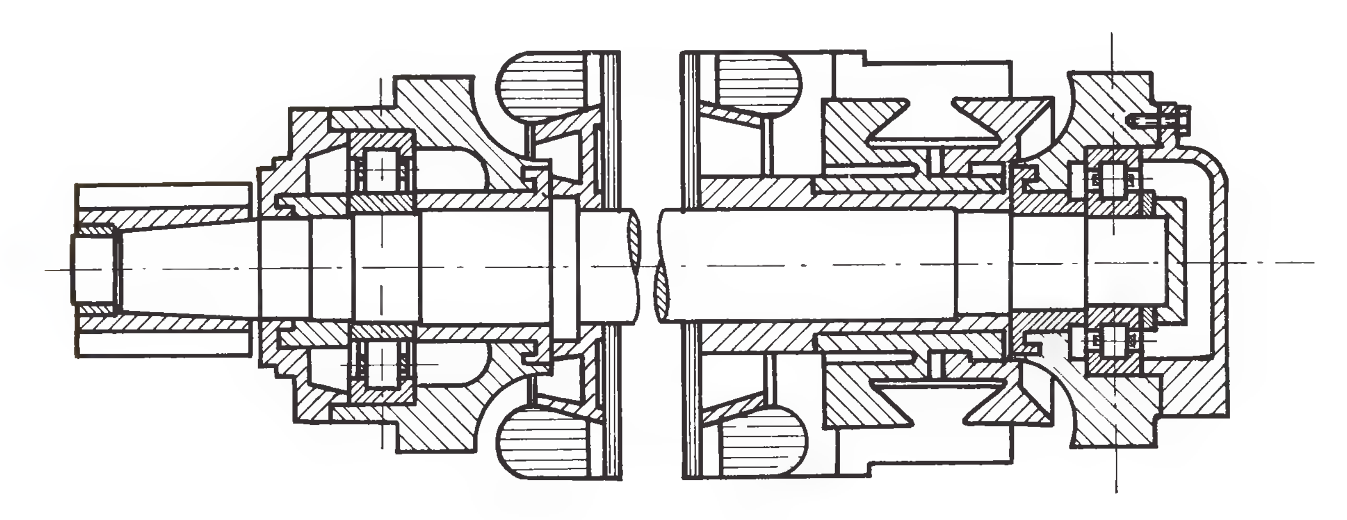
Para cargas muy elevadas se utilizan los rodamientos de rodillos cilíndricos.

Dos detalles esenciales deben tenerse en cuenta para conseguir un perfecto montaje y rendimiento de los cojinetes: dejar las cavidades necesarias para tener un retén de grasa y obturar las salidas con fieltros que eviten, por una parte, innecesarios escapes de aceite, y por otra la penetración de polvo en el interior de la máquina.

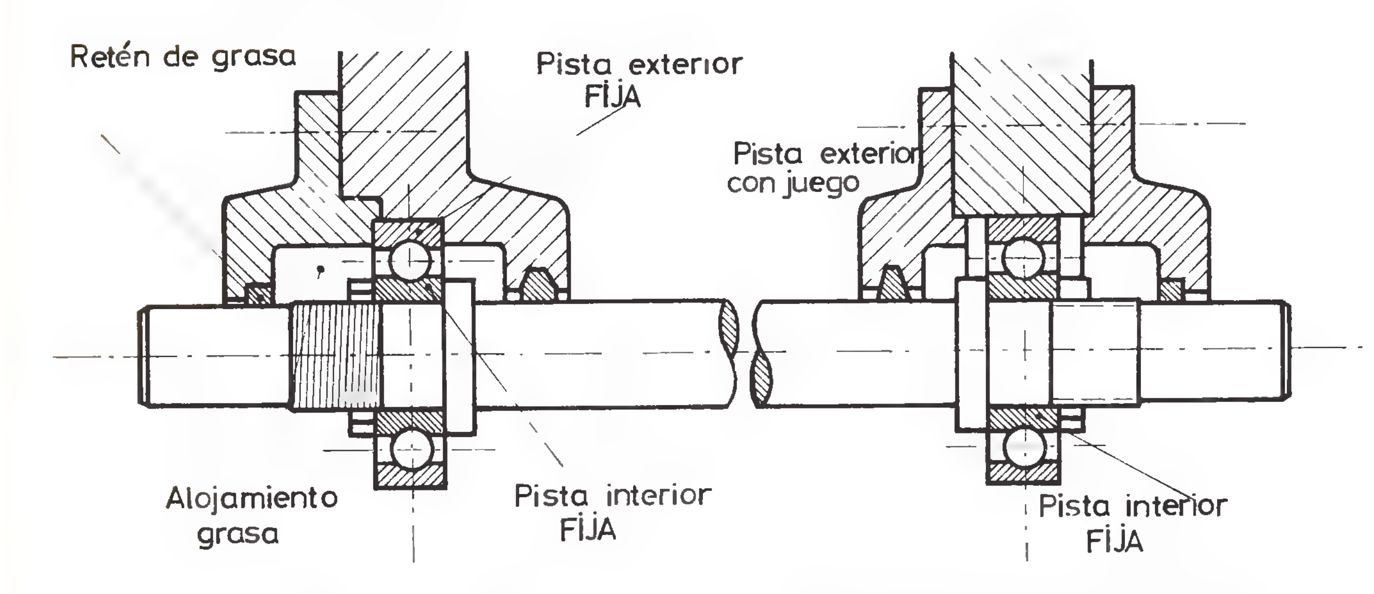
El eje de la dínamo sufre un considerable calentamiento que, por supuesto, se traduce en una dilatación. Para evitar que esta dilación derive en deformaciones de todo punto perjudiciales, uno de los dos cojinetes que soportan el eje será del tipo deslizante para que pueda desplazarse en sentido axial siguiendo la dilatación del eje.



Cojinetes de bolas en una máquina de c.c. de eje horizontal.



Cojinetes de rodillos en un motor de c.c.



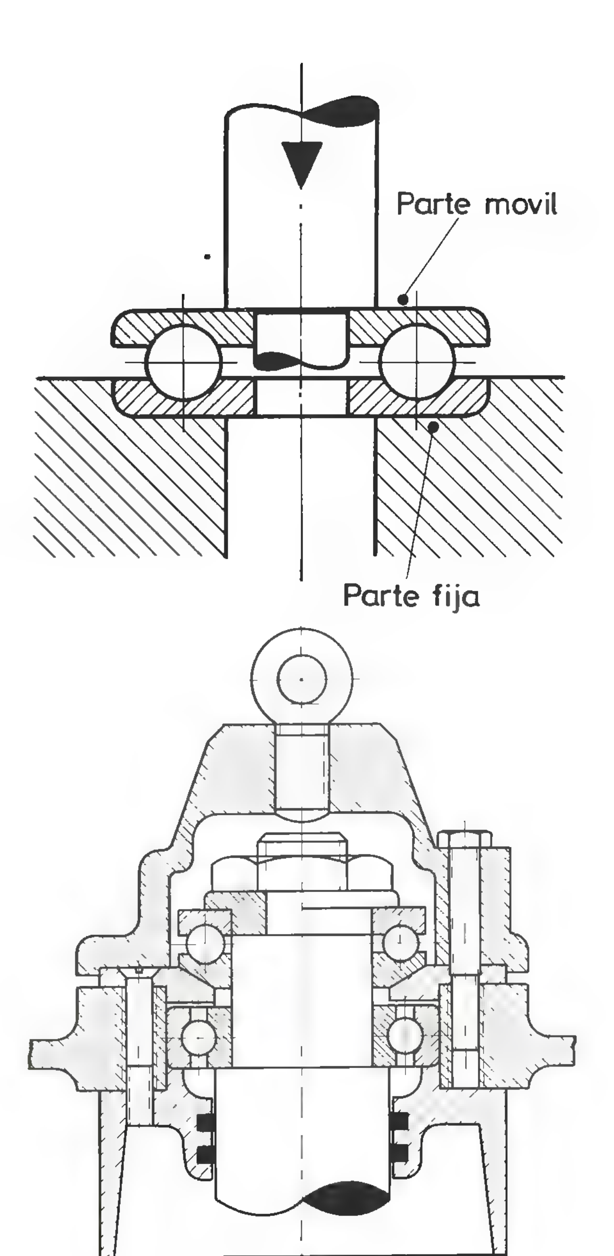
Cojinete fijo en un extremo del eje.

Cojinete deslizante en el extremo opuesto.

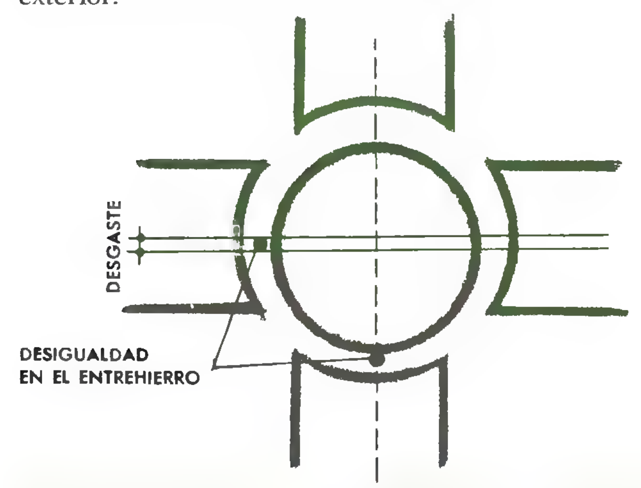
Lo más corriente, sobre todo en dínamos de pequeña y mediana potencia, es que su eje trabaje en posición horizontal. Se comprende, empero, que en aquellos casos especiales en que el eje de la dínamo trabaja verticalmente, el cojinete sobre el cual gravita el peso del inducido deberá ser del llamado tipo axial, ideado para la solución de estos casos.

Dada la pequeñez del entrehierro que separa el inducido y las masas polares, el centraje del árbol o eje de la dínamo es una cuestión primordial; y como este centraje puede desvirtuarse por un excesivo desgaste del cojinete, de ahí que debe vigilarse muy estrechamente esta posibilidad, que de darse podría provocar el roce entre el inducido y las masas polares con su secuela de serias averías.

Aquí cerramos este estudio teórico y descriptivo de las dínamos para enfocar una cuestión complementaria, pero de sumo interés práctico: la regulación de la tensión o de la intensidad que proporciona la dínamo, según sea uno u otro el factor que debe permanecer constante en el circuito exterior.

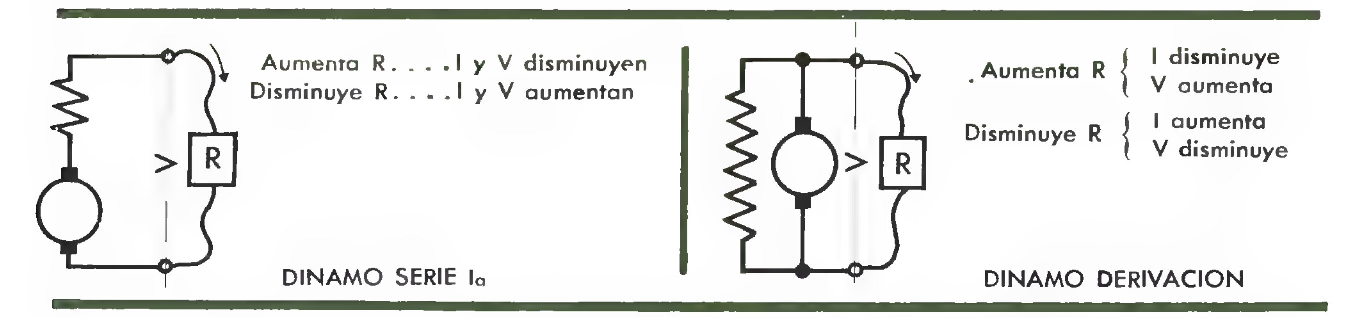


Cojinete axial en una máquina de eje vertical.



REGULADORES DE TENSION E INTENSIDAD

Sabemos de la existencia de tres tipos de dínamos: dínamo serie, dínamo derivación y dínamo compound. Vimos cómo la carga conexionada al circuito exterior influía en mayor o menor grado en la marcha de la dínamo. Así, podemos establecer las siguientes conclusiones:



La dínamo derivación, dentro de ciertos límites, se autorregula, cosa que parece hacerla más aconsejable.

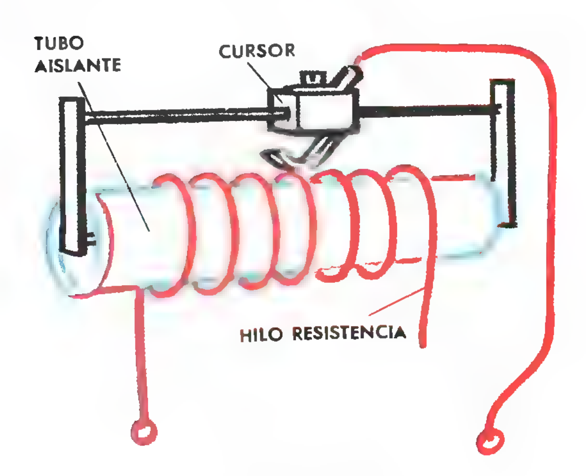
Sin embargo, hay circunstancias en que resulta más aconsejable la dínamo serie; son aquellas que requieren una intensidad constante, como por ejemplo las instalaciones para electrolisis. En otros casos es más aconsejable una dínamo derivación; en circuitos que requieren voltajes constantes, como en el caso de las instalaciones de luz.

En definitiva: toda dínamo requiere un regulador de tensión o de intensidad, ya que si bien para lograr una tensión o intensidad constantes bastaría con variar la velocidad de la dínamo, no siempre es posible conseguirlo con facilidad.

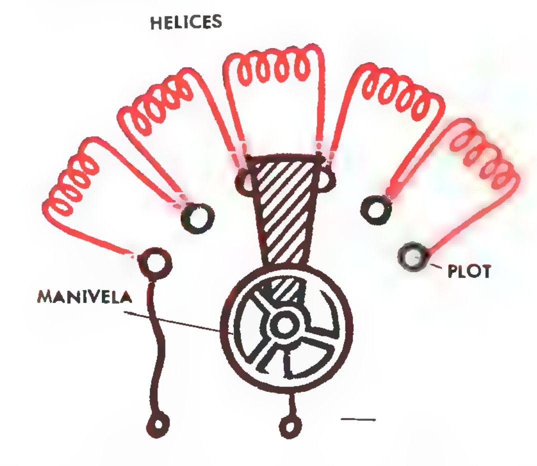
Estos reguladores, en realidad, no son otras cosas que una resistencia variable. Reciben el nombre de REÓSTATOS REGULADORES.

Un reóstato, en síntesis, es una resistencia de longitud variable, gracias a que uno de sus contactos es un cursor que se desliza por sobre sus espiras. Cuando el cursor (según nuestro gráfico) se desplaza hacia la derecha la resistencia aumenta, puesto que aumentamos la longitud del hilo resistente. Cuando el cursor se desplaza en sentido contrario la resistencia disminuye.

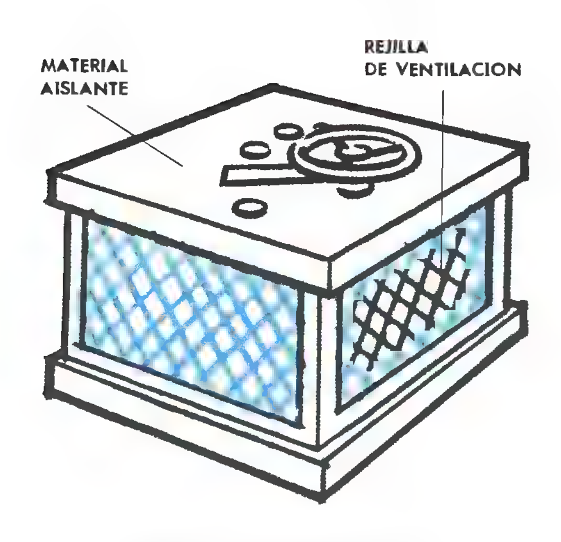
Este tipo de reóstato, llamado *de corredera*, sólo es apto para pequeñas intensidades. Para intensidades mayores se emplean los denominados *reóstatos de hélices*, formados por una serie de resistencias en espiral conectadas en serie a través de unos contactos llamados *plots*. Por encima de estos plots se desliza un cursor, accionado por un volante o manivela, que representa el contacto móvil destinado a fijar el valor total de la resistencia reóstato.



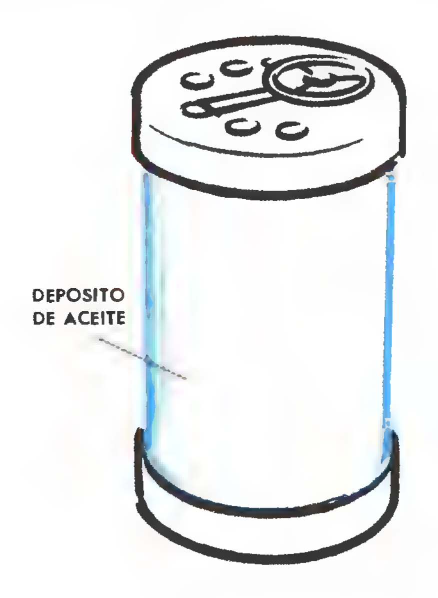
Reóstato de corredera.



Representación esquemática de un reóstato de hélices.



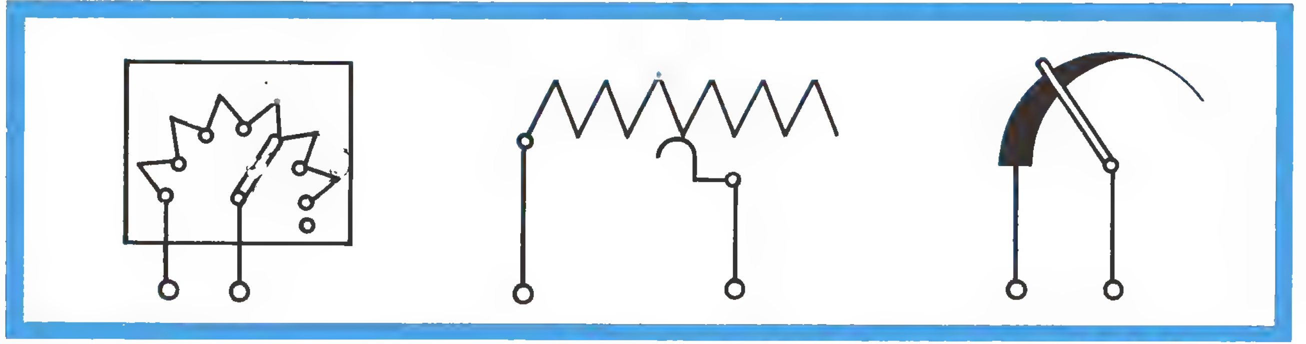
Reóstato de refrigeración natural.



Reóstato en baño de aceite.

Estos reóstatos pueden ser de refrigeración natural o de refrigeración en baño de aceite; depende de la tensión que soporten.

En los esquemas, un reóstato puede representarse por uno de estos símbolos, el más utilizado de los cuales es el último.

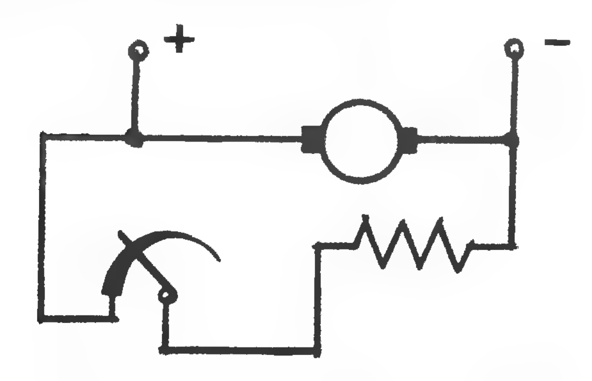


Símbolos para reostatos. Se recomienda el último de la derecha.

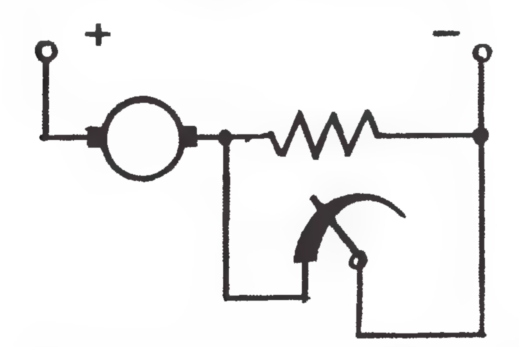
CONEXIONADO DE LOS REOSTATOS

Veamos, en pocas palabras y por medio de cinco esquemas, cómo debe conectarse el reóstato regulador, según sea el tipo de dínamo.

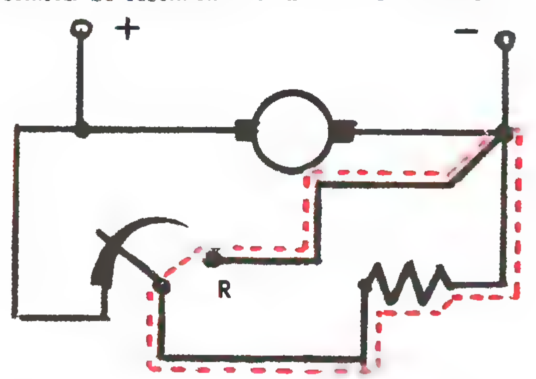
En la DÍNAMO SHUNT, el reóstato se conecta *en serie* con el arrollamiento inductor.



En la DÍNAMO SERIE, el reóstato se monta *en derivación* con el arrollamiento inductor.

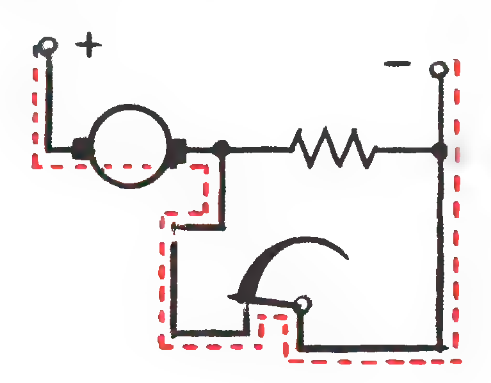


Si el reóstato de regulación de una dínamo derivación quiere utilizarse al mismo tiempo como interruptor de puesta en servicio, debe añadirse un nuevo plot que cierre el inductor sobre sí mismo para absorber la extracorriente de ruptura que provoca el corte instantáneo entre el arrollamiento y su corriente de autoinducción.

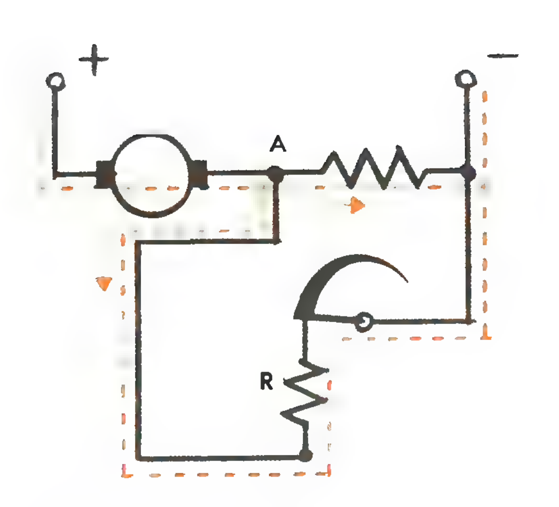


Dínamo derivación en la que el reóstato sirve de interruptor de puesta en servicio. Al llegar el cursor al plot R la corriente de autoinducción desaparece rápidamente.

En el reóstato de la dínamo serie debe añadirse una resistencia adicional en serie con dicho reóstato. De otra forma dejaríamos sin corriente de excitación al arrollamiento inductor. Vea las dos figuras inmediatas, que ilustran y explican este pormenor.



Dínamo serie con reóstato sin resistencia adicional. La corriente encuentra un camino más fácil por el reóstato y el inductor se queda sin corriente.



Añadiendo la resistencia R, y de acuerdo con las leyes de Kirchhoff, la corriente se bifurca en A. La dínamo sigue estando excitada.

Lo normal es que el reóstato regulador sea facilitado por el mismo fabricante de la dínamo, quien lo calcula de acuerdo con las características de la máquina o las necesidades del circuito (variabilidad de la carga en el mismo) que conoce el futuro usuario.

Calcular un reóstato no entraña ninguna complicación.

ACOPLAMIENTO DE DINAMOS

Para cerrar definitivamente estos temas dedicados al estudio de los generadores electromagnéticos de corriente continua, diremos cuatro cosas sobre una cuestión que tuvo mucha importancia cuando la corriente continua era la de aplicación normal doméstica e industrial.

Para atender la mayor necesidad de carga por parte de los usuarios, circunstancia que se da siempre a determinadas horas, las compañías suministradoras de corriente continua disponen de varias dínamos susceptibles de ser conectadas en serie y en paralelo, según convenga.

Se conectan en serie cuando interesa mantener en la red una intensidad constante; se conectan en paralelo cuando debe mantenerse una tensión constante.

CONEXIONES EN SERIE

D₁ D₂ D D₂ D₁ D₂

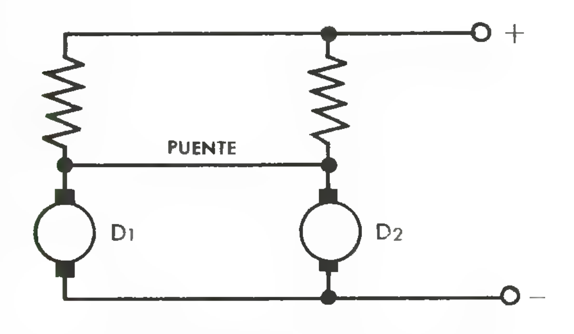
Conexión en serie de dos dínamos serie.

Conexión en serie de dos dínamos shunt.

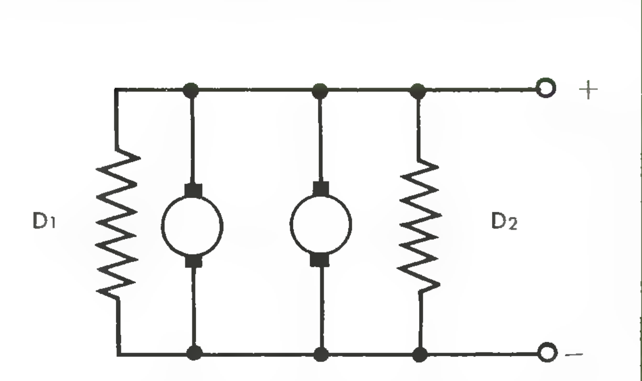
Conexión en serie de dos dínamos compound.

CONEXIONES EN PARALELO

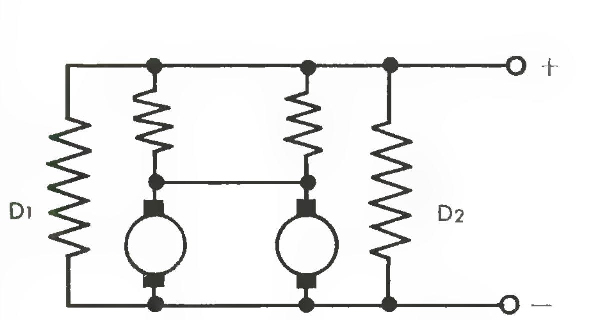
Para conectar dos dínamos en paralelo se procede del siguiente modo, según sea el tipo de dínamos a conectar:



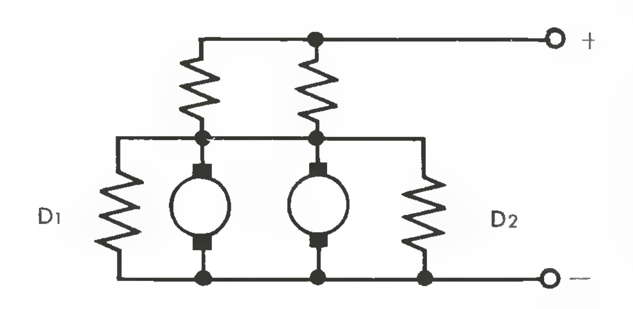
Conexión en paralelo de dos dínamos serie.



Conexión en paralelo de dos dínamos shunt.



Conexión en paralelo de dos dínamos compund en conexión larga

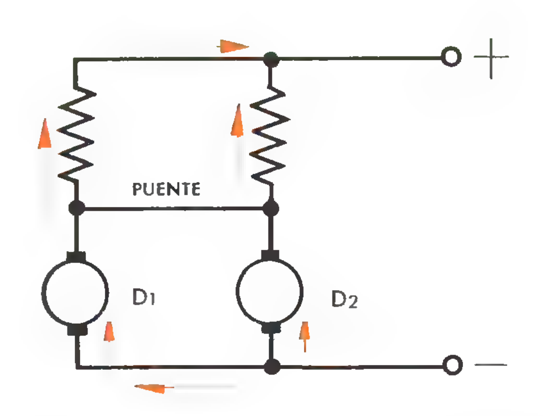


Conexión en paralelo de dos dínamos compund en conexión corta.

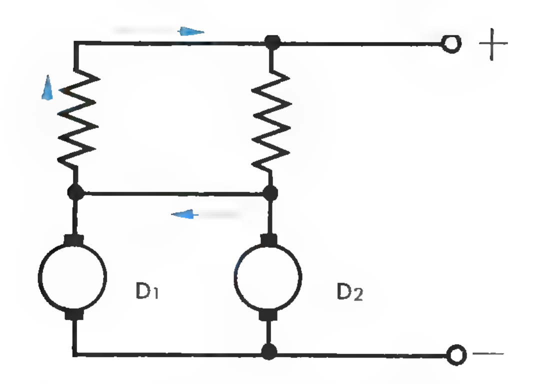
Habrá observado que en la conexión en paralelo de dos dínamos-serie se establece un puente entre ambas. ¿A qué obedece este detalle?

Suponga dos dínamos serie, D_1 y D_2, conectadas en paralelo sin el puente previsto. Mientras ambas dínamos trabajen en condiciones iguales o muy parecidas, ambas tensiones se mantendrán también dentro de unos valores prácticamente iguales; en este caso, la conexión responderá perfectamente.

Pero supongamos que por cualquier causa (por disminución de la velocidad del motor que acciona la dínamo) la tensión entre los bornes de D_1 desciende mucho. En este caso la corriente de la dínamo D_2 invadirá la otra máquina, circulando una intensidad de sentido contrario. La dínamo D_1 pasaría a funcionar como un motor; se produciría un brusco cambio en el sentido de giro capaz de provocar serias averías.



Dínamos serie en conexión en paralelo cuando las tensiones de D_1 y D_2 son prácticamente iguales.



Cuando la tensión en D_1 desciende mucho, la corriente de D_2 se bifurca por el puente compensador que es de hilo poco resistente.

MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

REVERSIBILIDAD DE LA DINAMO

El principio del motor eléctrico ha sido definido cuando en la lección 10 de nuestro Tratado estudiábamos los fenómenos de la inducción. Resumiendo, podemos recordar que:

El movimiento de un conductor o espira dentro de un campo magnético engendra en ella una corriente inducida, cuyo sentido depende del que siga el campo magnético y del que siga el movimiento de la espira. Todo ello responde a la regla de la mano derecha.

Por otra parte, si aportamos una corriente continua a un conductor o espira inmerso en un campo magnético, nace en él un movimiento cuyo sentido depende también del sentido del campo y del sentido de la corriente que atraviesa el conductor. Es decir: supuesta la corriente en igual sentido, lo que es la regla de la mano derecha para el generador, es la regla de la mano izquierda para el motor.

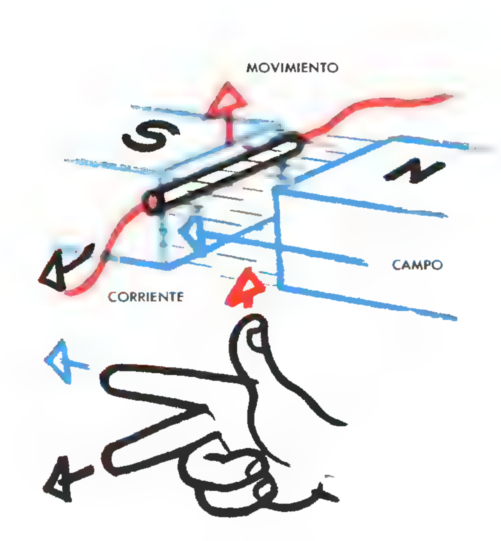
De estos principios básicos deducimos que el generador elemental es reversible; por extensión, podemos afirmar que esta reversibilidad se mantiene en la dínamo. O sea que una dínamo es un motor. Para que actúe como tal basta con invertir los términos energía-movimiento. Si aportamos energía en vez de aportar un movimiento, la dinamo actúa de motor generando un movimiento.

Resulta que el estudio de la dínamo nos sirve integro como estudio de los motores de c.c.

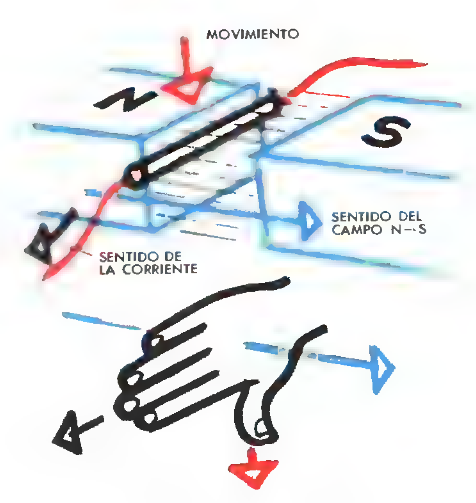
Vamos a repetirlo: una dínamo, conectada a una red de c.c., transforma la energía eléctrica absorbida en energía mecánica que puede perder a través de una polea, por ejemplo.

En las dos figuras precedentes puede comprenderse la función del puente compensador; al ofrecer un camino más fácil para la corriente de D_2, evita que invada D_1 en caso de un descenso en la tensión que suministra.

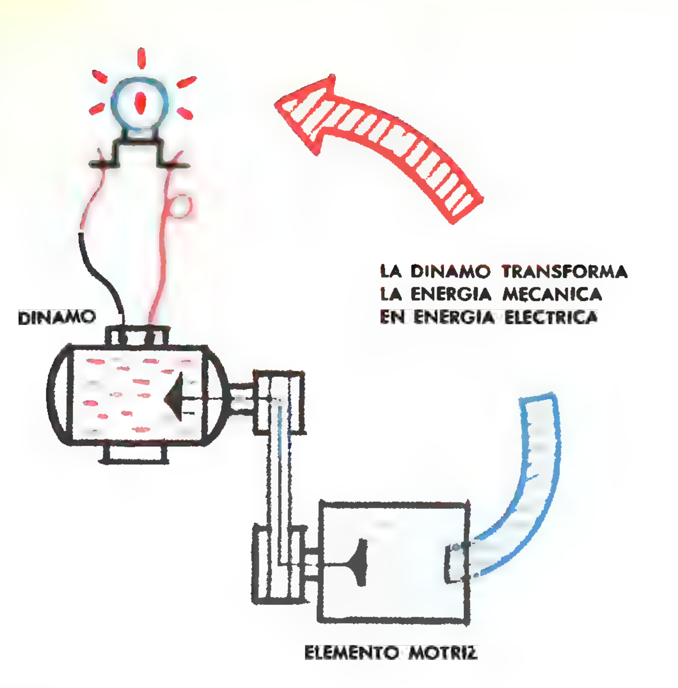
Con eso damos por terminado el estudio de las dínamos, el cual, entre otras cosas de importancia, habrá servido para que pueda comprender de una forma inmediata el funcionamiento de los motores de corriente continua.

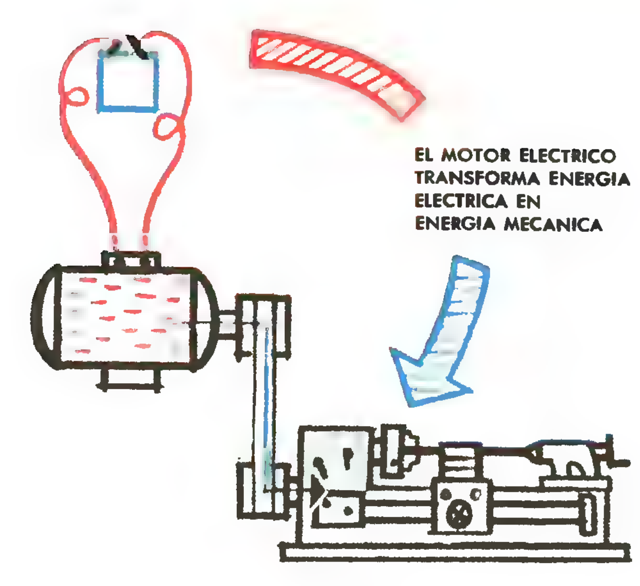


Principio del generador.



Principio del motor.





RENDIMIENTO

El rendimiento no es otra cosa que la relación existente entre la potencia cedida y la potencia absorbida por la máquina.

Si, por ejemplo, una dínamo ha de ceder 5 KW y tiene un rendimiento de 0'95, la potencia del elemento motriz que debe moverla deberá ser:

$$5 \text{ KW} = 5000 \text{ W}$$

$$\frac{5000}{0'95} = 5263 \text{ W}$$

Esta potencia, expresada en caballos de vapor (CV), será:

$$5263 \text{ W} = \frac{5263}{736} \text{ CV} = 7'1 \text{ CV}$$

Apliquemos el mismo concepto al caso de un motor.

Si un motor cede una potencia mecánica útil de 10 CV, ¿qué potencia absorberá de la línea, sabiendo que el rendimiento es de 0'90?

$$\text{Potencia absorbida} = \frac{10}{0'9} = 11'1 \text{ CV}$$

Esta potencia, expresada en KW, será:

$$11'1 \text{ CV} = 11'1 \times 737 = 8169'6 \text{ W} = 8'2 \text{ KW aprox.}$$

Suponiendo que la tensión de la línea sea de 440 V, la intensidad absorbida por el motor será:

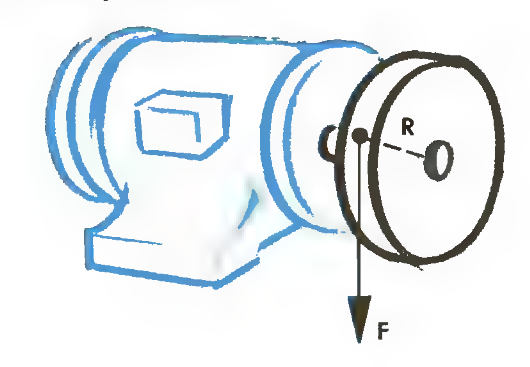
$$I = \frac{W}{V} = \frac{8169'6}{440} = 18'5 \text{ A}$$

Como sea que abordamos por primera vez el estudio de los motores eléctricos, convendrá que antes de proseguir con sus particularidades dejemos bien sentados dos conceptos fundamentales: PAR MOTOR y POTENCIA.

PAR MOTOR

El concepto de PAR MOTOR es muy aplicado en mecánica. Se trata de una definición físico-matemática que, referida a un motor, puede concretarse diciendo que:

PAR MOTOR es el producto del radio de la polea motriz por la fuerza que actúa en el extremo del mismo.



La fórmula que da el valor de un par motor, debe ser ésta:

$$P_m = R \times F$$

De esta fórmula deduciremos estas dos:

$$R = \frac{P}{F}$$

$$F = \frac{P_m}{R}$$

En estas fórmulas, cuando la fuerza se da en Kg y la longitud del radio en cm, el par motor viene expresado en cm-Kg (centímetros-kilo).

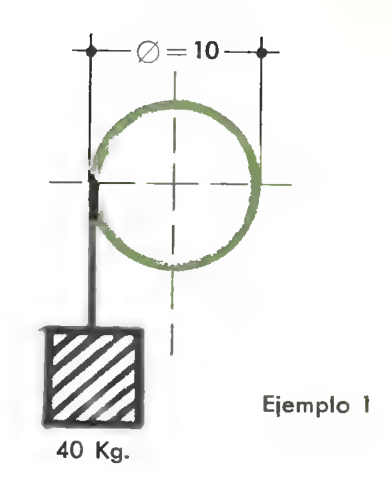
Tres ejemplos acabarán de aclarar el concepto.

1. La polea de un motor tiene un diámetro de 10 cm. Calcular el par motor cuando tangencialmente a dicha polea actúa una fuerza de 40 Kg.

Un diámetro de 10 cm representa un radio R = 5 cm.

Luego:

$$P_m = 5 \times 40 = 200 \text{ cm-Kg}$$



Ejemplo 1

2. Un motor eléctrico es capaz de soportar un par motor de 5000 cm-Kg. ¿Qué fuerza tangencial podrá aplicarse a su polea, si su diámetro es de 8 cm?

Para un diámetro de 8 cm, R = 4 cm.

Luego:

$$F = \frac{P}{R} = \frac{5000}{4} = 1250 \text{ Kg}$$

3. Un motor puede desarrollar un $P_m = 10000$ cm-Kg. Calcular el diámetro de polea necesario para soportar una fuerza de 2000 Kg.

$$R = \frac{P_m}{F} = \frac{16000}{2000} = 5 \text{ cm}$$

$$D_{polea} = 5 \times 2 = 10 \text{ cm}$$



POTENCIA DE UN MOTOR

Vamos a recordar un concepto de física general que usted ya conoce, para relacionarlo luego con el concepto de par motor que acabamos de definir.

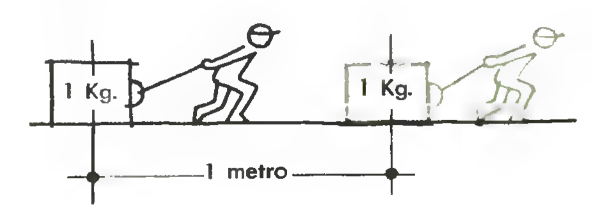
¿Qué entendemos por potencia?

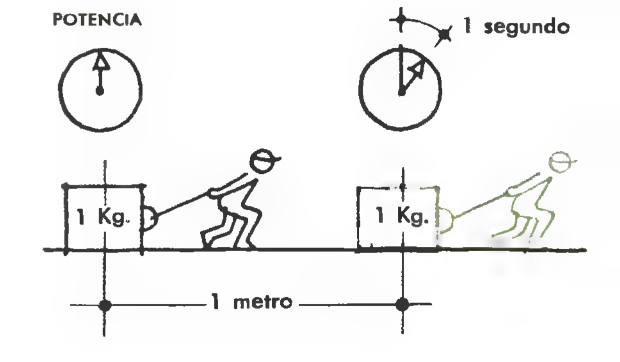
Potencia, recuérdelo, es el trabajo realizado en la unidad de tiempo.

El concepto de trabajo no considera el tiempo invertido. Así, cuando decimos que un hombre ha llevado 1 Kg a lo largo de un metro nos referimos al trabajo realizado: un kilográmetro, INDEPENDIENTEMENTE DEL TIEMPO EMPLEADO.

Pero si contamos el tiempo durante el cual se ha efectuado el trabajo, habremos introducido el concepto de potencia. Si nuestro hombre del ejemplo realiza el trabajo en el tiempo de un segundo, afirmaremos que ha desarrollado una potencia de 1 Kgm/seg; un kilográmetro por segundo.

Recordemos, también, que 1 CV = 75 Kgm/seg.





Por ejemplo:

Averiguar la potencia en CV que ha desarrollado un hombre al trasladar una fuerza de 40 Kg a lo largo de 20 m, en el tiempo de 10 segundos.

$$\text{Trabajo} = F \times e = 40 \times 20 = 800 \text{ Kgm}$$

El tiempo empleado ha sido de 10 segundos, lo cual quiere decir que el trabajo realizado en la unidad de tiempo (1 seg), que es la potencia, será de:

$$\text{Potencia} = \frac{T}{t} = \frac{800}{10} = 80 \text{ Kgm/seg}$$

Expresada en CV, la potencia será:

$$\text{Potencia en CV} = \frac{80}{75} = 1'06 \text{ CV}$$

RELACION ENTRE POTENCIA Y PAR MOTOR

Entre la potencia y el par motor existe una relación; y dado que la deducción matemática de tal relación es francamente sencilla, no se la ocultaremos.

Supongamos un motor con una polea de radio R sobre la cual actúa una fuerza tangencial F. Este motor tiene una velocidad de giro de *n* revoluciones por minuto.

Cuando el eje de este motor haya dado una vuelta completa, habrá realizado un trabajo, cuyo valor vendrá dado por esta expresión:

$$T = F \times e = F \times 2 \pi R \text{ Kgm}$$

Puesto que el motor gira a n revoluciones por minuto, el núm. de vueltas por segundo será $\frac{n}{60}$.

Luego, el trabajo realizado en un segundo (en $\frac{n}{60}$ vueltas) será la potencia del motor en Kgm/seg. Llamemos N a esta potencia.

$$N = F \times 2 \pi R \times \frac{n}{60} =$$

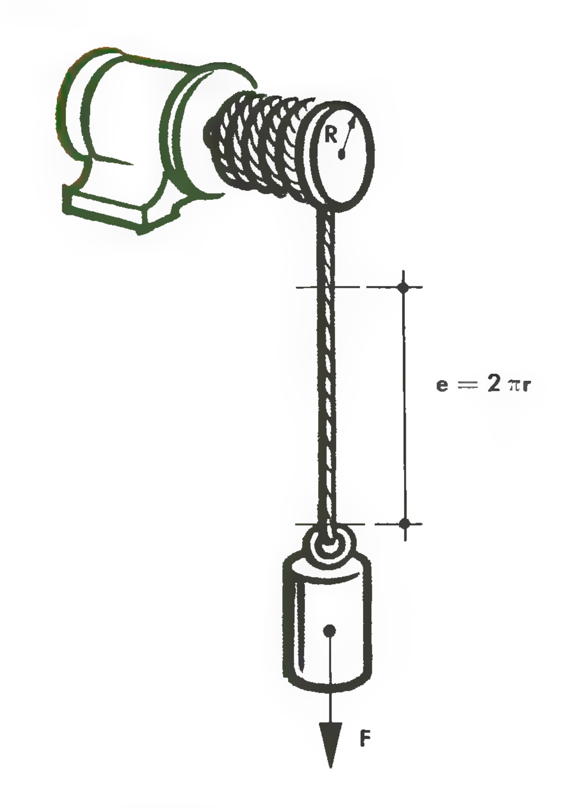
$$\frac{F \times 2 \pi R \times n}{60} \text{ Kgm/seg}$$

Esta última expresión puede escribirse así:

$$N = \frac{F \times R \times 2 \pi n}{60}$$

En ella aparece el producto F × R que conocemos como par motor P_m. Luego podemos sustituir F × R por su igual P_m.

$$N = \frac{P_m \times 2 \pi n}{60} \text{ Kgm/seg}$$



Para transformar estos Kgm/seg en CV deberemos dividir entre 75:

$$N = \frac{P_m \times 2 \pi n}{60 \times 75} \text{ CV}$$

Sabemos que P_m acostumbra darse en cm-Kg y no en m-Kg como hasta aquí lo tenemos. Deberemos efectuar la reducción dividiendo entre 100, puesto que 1 m = 100 cm.

$$N = \frac{\frac{P_m}{100} \times 2 \pi n}{60 \times 75} = \frac{P_m \times 2 \pi n}{60 \times 75 \times 100}$$

De donde deducimos P_m:

$$P_m = \frac{60 \times 75 \times 100 \times N}{2 \pi n} =$$

$$= \frac{60 \times 75 \times 100}{2 \pi} \times \frac{N}{n} =$$

$$= 71619'5 \frac{N}{n} \sim 71620 \frac{N}{n}$$

Ésta es la relación existente entre la potencia y el P_m de un motor:

$$P_m = 71620 \frac{N}{n}$$

Recordemos que en esta fórmula es:

P_m = Par motor en cm-Kg;
N = Potencia del motor en CV;
n = Revoluciones por minuto;
71620 = Constante aproximada

Esta fórmula permite la solución de muchos problemas de índole práctica. Por ejemplo:

Calcular el P_m de un motor de 5 CV que gira a 1000 r.p.m.

$$P_m = 71620 \frac{5}{1000} = 358'1 \text{ cm-Kg}$$

Con este P_m y una polea de 6 cm de diámetro (R = 3 cm) este motor levantaría un peso de

$$\frac{358'1}{3} = 119'3 \text{ Kg'}$$

Esto parece poca cosa; pero piense que este motor de 5 CV gira a 1000 r.p.m., lo cual significa que subiría estos 119'3 Kg a razón de

$$2 \pi \times 3 \times 1000 = 18840 \text{ cm/min} = 188'4 \text{ m/min}$$

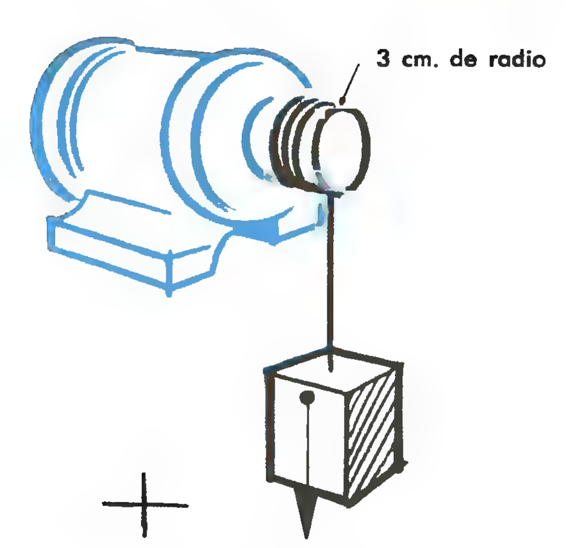
Una velocidad de elevación de 188'4 metros por minuto para un peso de 119'3 Kg no es ninguna tontería.

Esta velocidad, indiscutiblemente, es excesiva; pero cabe la posibilidad de estudiar un juego reductor de engranajes que al disminuir la velocidad de elevación aumente el valor del trabajo. Este mismo motor, por ejemplo, podrá elevarnos diez toneladas o más. Para 10 Tm la velocidad de elevación vendría a ser de 2 metros por minuto. Este es un tema netamente mecánico que rehusamos plantear aquí.

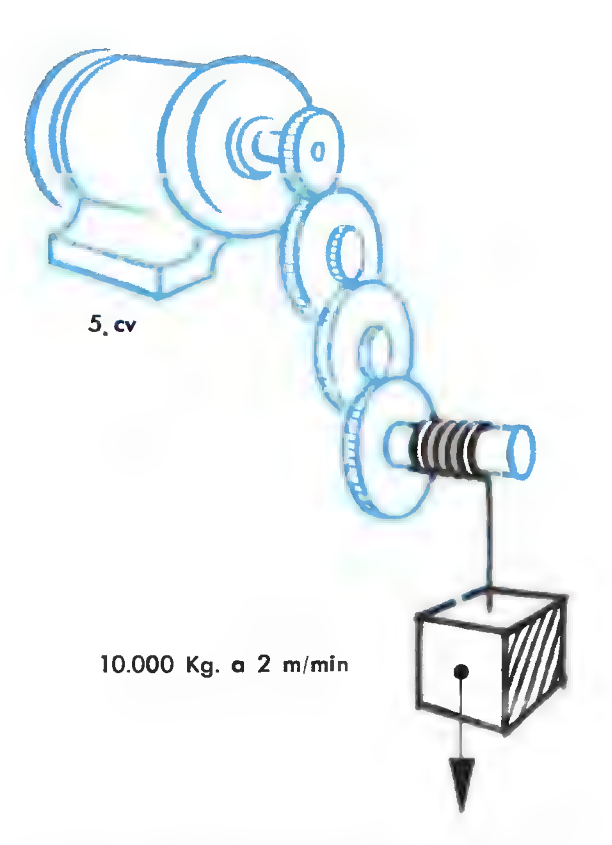
En principio, lo interesante es que retenga estas dos fórmulas:

$$P_m = 71620 \frac{N}{n}$$

$$N = \frac{P \times n}{71620}$$



El motor del problema elevaría 119'3 kg a razón de 188'4 m minuto.



Con una reducción de engranajes podríamos conseguir que la elevación de 10 Tm se llevase a cabo a razón de 2 m minuto.

PARTICULARIDADES EN LOS MOTORES DE C.C.

Hasta aquí han sido conceptos generales, básicos para todo tipo de motores, tanto de c.a. como de c.c. Ha llegado el momento de citar detalles que son propios de motores de corriente continua.

Empecemos por dejar sentado que habrá tantos tipos de motores como de dínamos: encontramos, en efecto, motores de excitación independiente, motores serie, motores shunt y motores compound, cuyos elementos constructivos, conexiones y devanados responden en todo a lo estudiado para las dínamos del mismo nombre.

En consecuencia, nada vamos a decir sobre ello. Piense el lector que al estudiar las dínamos ha estudiado también los motores de c.c. Sólo falta que añada a sus conocimientos las cuestiones especiales con que cerramos este capítulo.

INTENSIDAD DE ARRANQUE E INTENSIDAD DE SERVICIO

En todo motor de corriente continua podemos observar que cuando lo conectamos a la red se comporta como cualquier aparato eléctrico provisto de una determinada resistencia óhmica. Es decir: cumple rigurosamente con la ley de Ohm.

$$I = \frac{V}{R}$$

La resistencia óhmica del motor es la que ofrecen sus devanados; resistencia que, para evitar pérdidas demasiado elevadas por calor, se procura que sea muy pequeña (sólo así el valor $R \times I^2$ no tendrá una importancia excesiva).

Es evidente que siendo R muy pequeña, en el instante de la conexión el valor de I será muy elevado. A esta intensidad se la llama INTENSIDAD DE ARRANQUE I_a, puesto que es la que consume el motor en el momento en que empieza a recibir corriente de la red.

Esta intensidad I_a debe vigilarse, porque de no hacerlo puede comprometer la integridad de los aislamientos del motor.

Una vez superado el momento de arranque, el motor empieza a girar y en las espiras de su inducido nace una f.e.m. inducida (E) que, recuérdelo, se opone a la causa que la origina. Por tanto, una vez el motor se ha puesto en marcha, la tensión entre bornes V deberá vencer esta f.e.m. inducida que llamamos FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ (f.c.e.m.). Pero la tensión V no sólo debe vencer la f.c.e.m., sino también consumirá una cierta intensidad; vamos a llamarla I_r o INTENSIDAD DE RÉGIMEN.

En definitiva, podemos decir que se cumple lo siguiente:

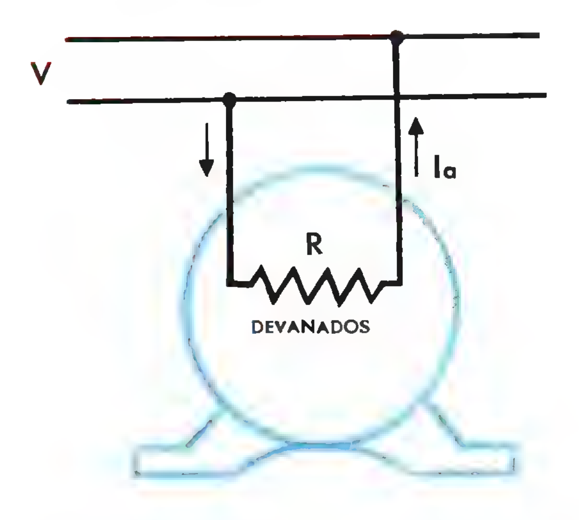
$$V = E + R\, I_r$$

De aquí deducimos el valor de I_r:

$$I_r = \frac{V - E}{R}$$

Y también el valor de E o f.e.m.:

$$E = V - R\, I_r$$



La intensidad de arranque I_a es la que consumen los devanados en el instante de la conexión.

La tensión V es siempre mayor que E, pero la diferencia entre ambos valores nunca es muy considerable; difieren muy poco.

De ahí que el valor de la intensidad de régimen I_r sea mucho más pequeño que el de la intensidad de arranque I_a.

Sepa ahora que el valor de la fuerza contraelectromotriz viene dado por esta expresión:

$$E = \frac{P \times n \times N \times \Phi}{C \times 60 \times 100000000}$$

En esta fórmula es:

E = Fuerza contraelectromotriz;

C = Número de circuitos derivados del devanado;

n = r.p.m. del inducido;

N = Número de conductores activos;

Φ = Flujo cortado por las espiras.

De esta fórmula deduciremos fácilmente la velocidad n del inducido:

$$n = \frac{C \times 60 \times 100000000 \times E}{P \times N \times \Phi}$$

Tenga en cuenta que los valores C, 60, 100000000, P y N son constantes y datos constructivos de cada motor. Ello nos permite reducir a un valor característico A la expresión siguiente.

$$\frac{C \times 60 \times 100000}{P \times N} = A$$

Con ello tendremos:

$$n = A \frac{E}{\Phi}, \text{ o bien } n = A \frac{V - R\ I_r}{\Phi}$$

De estas dos últimas fórmulas podemos deducir una serie de consecuencias muy interesantes.

En principio, vemos que en todo motor de c.c. la velocidad depende directamente de la f.c.e.m. (E) y es inversamente proporcional al flujo Φ. Es decir:

AUMENTANDO O DISMINUYENDO E, AUMENTA O DISMINUYE n.

AUMENTANDO Φ, DISMINUYE n.

DISMINUYENDO Φ, AUMENTA n.

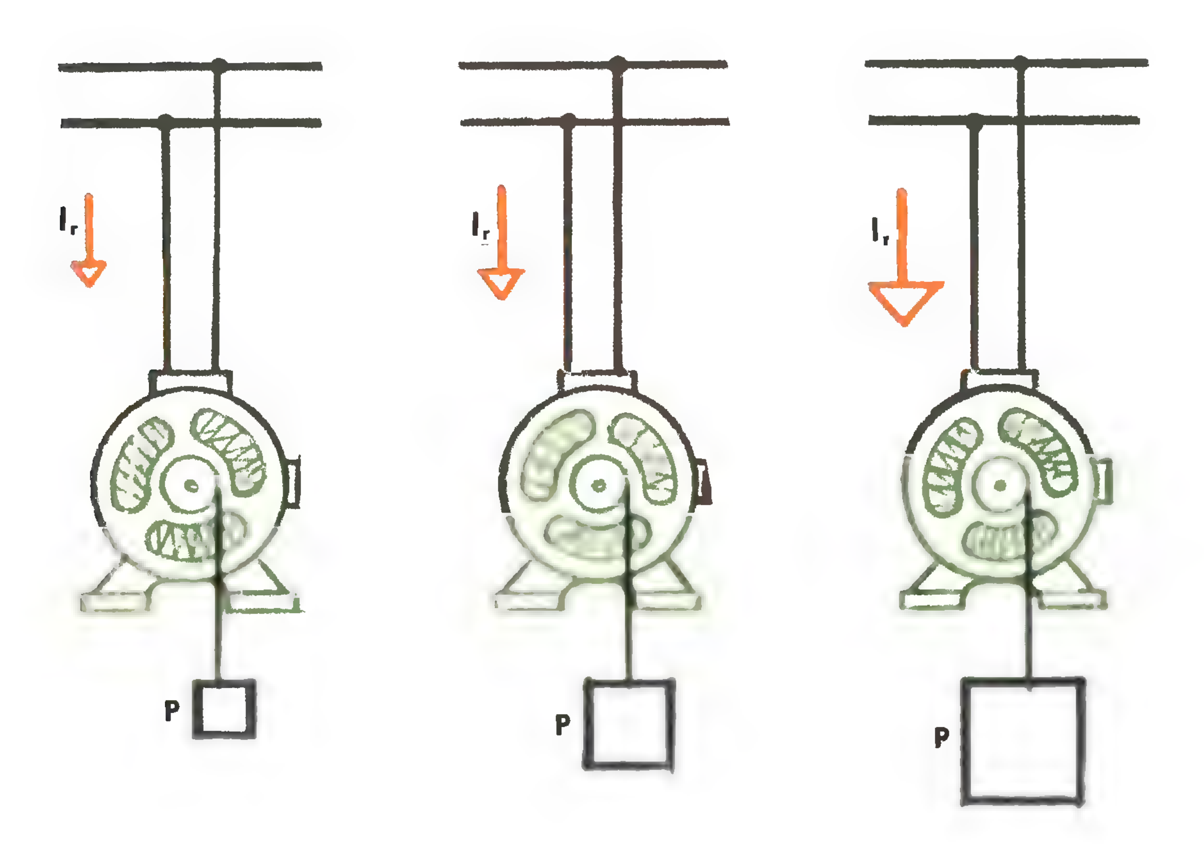
Ahora bien: es lógico que la intensidad de régimen I_r aumente o disminuya siguiendo directamente las variaciones de la carga del motor. A mayor carga, más intensidad consumirá el motor, y viceversa.

Observando la fórmula $E = V - R\ I_r$, nos damos cuenta de que al aumentar I_r disminuye el valor de E, y según la fórmula

$$n = A \frac{E}{\Phi},$$

lo que en definitiva disminuye es la velocidad del motor.

Para restituir al motor su velocidad conveniente, deberá rebajarse el valor del flujo Φ, lo que deberá hacerse con gran cuidado para no llegar a cortar la corriente de excitación, en cuyo caso el valor de Φ bajaría a un valor mínimo, ya que sólo



Cnando aumenta la carga del motor, aumenta también la intensidad de régimen I_r. Con ello disminuye E y la velocidad n del motor.

quedaría el flujo debido al magnetismo remanente de los polos. En consecuencia la velocidad aumentaría vertiginosamente, llegando a comprometer la solidez del motor.

Veamos, finalmente, otra cuestión derivada del estudio de la fórmula de V.

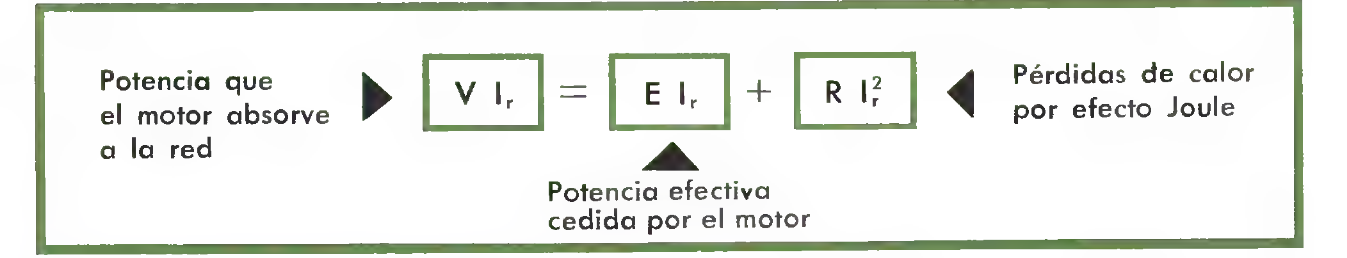
Sabemos que es $V = E + RI_r$; y sabemos también que si multiplicamos los dos miembros de una igualdad por un mismo número o expresión, la igualdad persiste. Pues bien; multipliquemos por I_r los dos miembros de la igualdad citada.

Tendremos lo siguiente:

$$V = E + RI_r$$

$$VI_r = (E + RI_r)\, I_r = EI_r + RI_r^2$$

Observe que hemos conseguido tres expresiones de potencia que son las siguientes:



MOTOR CON EXCITACION INDEPENDIENTE

Acabamos de ver que la velocidad del motor depende, en definitiva, de la carga que se le aplique. Sin embargo, es posible obtener un motor cuya carga no influya en su velocidad; o mejor dicho: son motores en los cuales la velocidad es prácticamente independiente de la carga. Son los motores con excitación independiente.

Al ser R (resistencia del inducido) muy pequeña, resulta que el producto RI_r siempre resulta muy pequeño también, a pesar de que el factor I_r puede aumentar con la carga. Ello hace que a fines prácticos la fórmula

$$n = A \frac{V - RI_r}{\Phi}$$

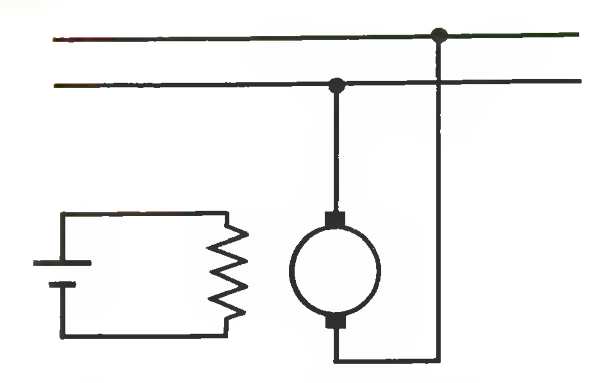
podamos considerarla reducida a ésta:

$$n = A \frac{V}{\Phi}$$

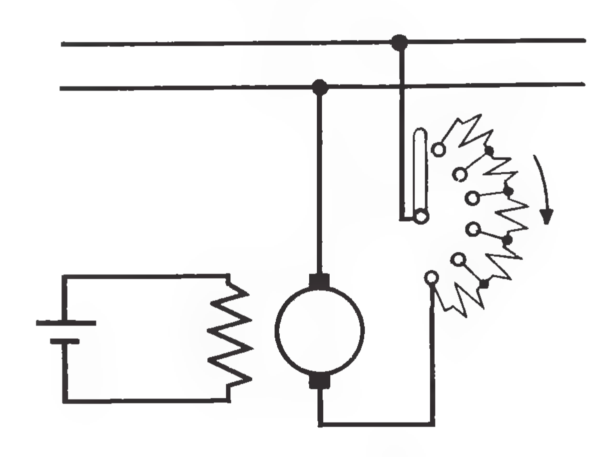
Y puesto que el flujo Φ no depende de la corriente de la red, sino que lo obtenemos por excitación independiente, dicho flujo permanecerá constante, gracias a lo cual n es siempre la misma con independencia de la carga.

En estos motores, para evitar que la intensidad de arranque deteriore los devanados del inducido, se añade, en serie con él, un reóstato de arranque.

El motor arranca cuando la manivela del reóstato está en contacto con el plot 1 (máxima resistencia); a medida que el motor gana en veloci-



Símbolo de un motor de c.c. con excitación independiente. El inductor recibe corriente con total independencia de la red.



Un reóstato de arranque evita que la intensidad I_a pueda dañar los devanados del inducido.

dad, se van recorriendo plots (disminuye la resistencia) hasta que el motor alcanza su velocidad normal.

Si por cualquier circunstancia interesase variar la velocidad del motor, podríamos conseguirlo de tres formas distintas.

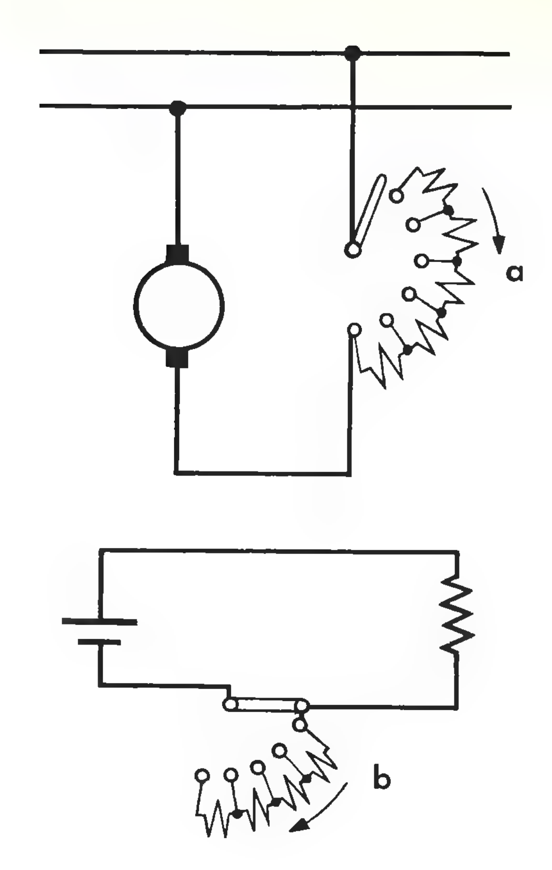
1.º Variando la tensión de alimentación V. En la mayoría de los casos es una solución demasiado dificultosa, por lo que es el sistema menos utilizado.

2.º Variando la resistencia R del inducido, cosa que con el motor en régimen normal tiene el inconveniente de aumentar las pérdidas por efecto Joule.

3.º Variando el flujo inductor. La excitación independiente permite hacerlo con facilidad; basta con añadir un reóstato en serie con las bobinas inductoras.

Cuando la manivela del reóstato está en la posición de origen el flujo tiene su valor nominal; y en consecuencia también la velocidad n será la nominal del motor. A medida que el reóstato proporciona mayor resistencia, disminuye la intensidad y con ella el flujo. El resultado inmediato es mayor velocidad.

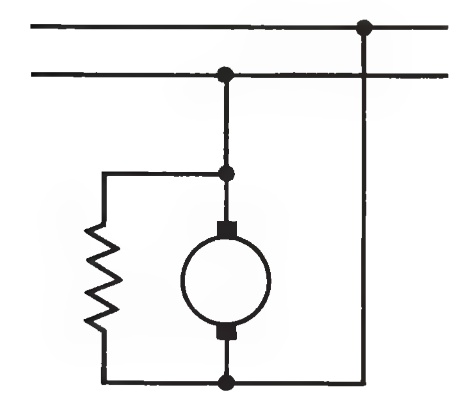
Se comprende que no podamos obtener velocidades que estén por debajo de la nominal.

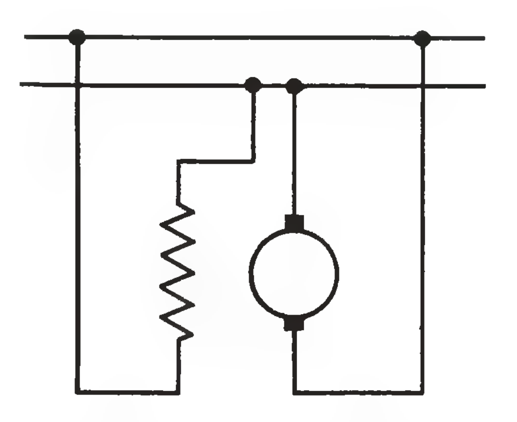


El reóstato A regula la intensidad de arranque I_a. El reóstato B regula la corriente que crea el flujo Φ.

MOTOR SHUNT

El motor shunt, aunque no lo parezca a simple vista, es de características semejantes al de excitación independiente. En el motor shunt la corriente de excitación no depende del inducido; sólo depende de la resistencia de los arrollamientos. Es fácil verlo considerando que el símbolo del motor shunt puede trazarse de dos formas distintas. En la segunda se aprecia cómo el devanado del inductor se alimenta de la red, pero con independencia del inducido.

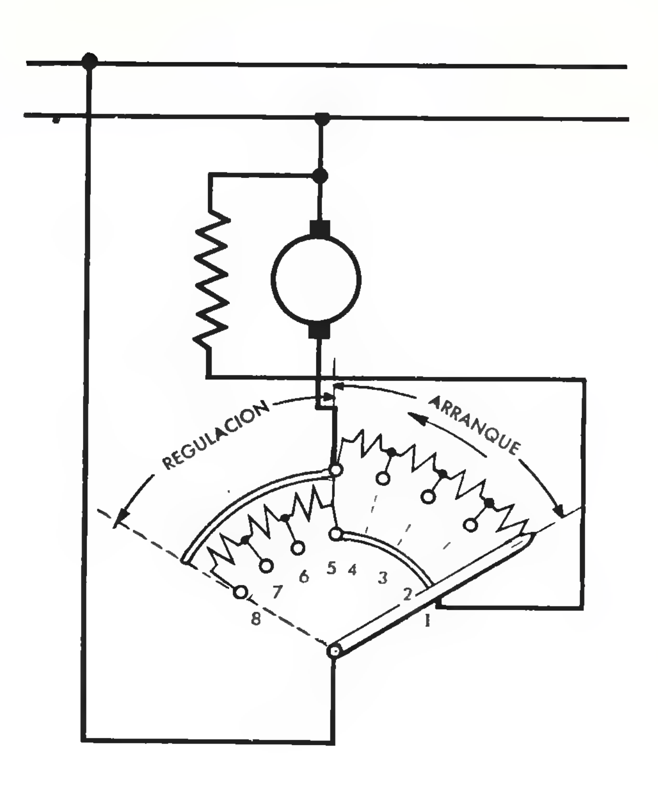




Los dos esquemas son técnicamente el mismo motor.

Podemos decir, pues, que un motor shunt es igual a un motor con excitación independiente, con la única diferencia de que en el primero (shunt) la fuente de alimentación del inductor es la misma que la del inducido. La regulación del arranque y la de la velocidad se consiguen del mismo modo, aunque normalmente se hace con un reóstato único.

Vea nuestro esquema. En él aparece la manivela del reóstato en el plot 1; es el instante de arranque, en que damos corriente al inductor y al inducido a través de las resistencias comprendidas entre 1 y 5. Cuando la manivela está en el plot 5 el motor alcanza su marcha normal; n tiene su valor nominal. Los plots 6, 7 y 8 son para aumentar la velocidad.



Símbolo de un motor shunt con el reóstato incorporado.

MOTOR SERIE

Este motor tiene un funcionamiento distinto al de los anteriores, por la sencilla razón de que la corriente que circula por el inducido es la misma que sirve de corriente de excitación. Por tanto, las variaciones de la carga afectan al flujo inductor.

Basta con observar el símbolo de este motor para comprobar lo dicho y comprender que si al aumentar la carga aumenta I_r, en la fórmula

$$n = A \frac{V - RI_r}{\Phi}$$

el numerador disminuye y la velocidad con él. También sucede que al aumentar I_r aumenta el flujo Φ, lo que motiva otra disminución de la velocidad.

Total: que en el motor serie todo aumento de carga representa una caída considerable de la velocidad; y al revés: si por cualquier causa la carga desaparece, el fenomeno es inverso y la velocidad sube vertiginosamente, llegando a lo que llamamos embalamiento, siempre peligroso para el motor.

Con estas consideraciones sobre motores de c.c. hemos agotado el tema en lo que le permite el nivel impuesto en este Tratado.

instalaciones 18

En la lección anterior hemos visto la utilización y aplicaciones del tubo de hierro en las instalaciones industriales. Actualmente, con el creciente progreso que ha experimentado la fabricación y transformación de las materias plásticas, que por sus características mecánicas y dieléctricas han tenido gran aceptación en la industria eléctrica (principalmente en el campo dé los aislantes), se ha puesto a punto la producción de tubos para instalaciones, fabricados principalmente con cloruro de polivinilo. Estos tubos se encuentran en el mercado con distintos nombres comerciales: Fergondur, Electrodur, etc.

Estos tubos, por las ventajas que reúnen, son indicadísimos para la protección de los conductores eléctricos, tanto en las instalaciones normales como en las blindadas, sustituyendo a los tubos total o parcialmente metálicos que hasta ahora se venían utilizando normalmente en las instalaciones industriales.

PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LOS TUBOS DE CLORURO DE POLIVINILO

Las propiedades más importantes son:

1. *Más ligeros que los tubos de otras naturalezas.* Su peso específico es aproximadamente igual a la quinta parte del peso específico del hierro. De ahí su facilidad de transporte a pie de obra, y su fácil manejo durante su instalación.

2. *Facilidad de instalación*, gracias a su poco peso y por precisar menos herramientas que la mayoría de los tubos empleados en instalaciones eléctricas. Para cortarlos se pueden usar indistintamente sierras para madera o metal. Al moldear los tramos curvados no se producen rugosidades en el interior del tubo, conservando un diámetro uniforme que evita que los cables se adhieran en el interior de las curvas.

Por todo lo expuesto anteriormente, es digna de ser tenida en cuenta otra ventaja: la mayor rapidez que presenta el montaje con estos tubos.

3. *Aislamiento eléctrico.* Para los tubos de cloruro de polivinilo, los valores de aislamiento son elevados. Su tensión de perforación alcanza 45.000 voltios por milímetro. Son completamente insensibles a las corrientes vagabundas. Por sus excelentes cualidades aislantes, las pérdidas por contacto a masa son completamente eliminadas.

4. *Características mecánicas.* Su resistencia mecánica es excelente, especialmente a la tracción. Pueden soportar perfecta y eficazmente el peso de los conductores colocados en su interior, protegiéndolos a la vez contra golpes y vibraciones.

5. *Propiedades químicas.* Los tubos de cloruro de polivinilo son resistentes a los ácidos, bases, gases corrosivos, aceites, agentes oxidantes, etc., por lo cual son adecuados para las instalaciones en locales industriales donde puedan estar sometidos a la acción de los citados agentes.

Sus propiedades químicas permiten colocarlos en cualquier tipo de terreno, puesto que no se verán afectados, cualquiera que sea la composición del suelo. Además son insensibles a la acción del ozono (forma alotrópica del oxígeno O_3 que se forma como consecuencia de la acción de fuertes campos eléctricos).

No envejecen con el tiempo; pueden instalarse tanto a la intemperie como empotrados.

6. *Su escasa absorción de la humedad* y la particularidad que presentan estos tubos de evitar las condensaciones los hace especialmente indicados para las instalaciones eléctricas en locales muy húmedos.

7. *Los tubos de cloruro de polivinilo no son inflamables.* Si se someten a la acción de la llama, se carbonizan; pero una vez retirada se apagan inmediatamente. Por ello, en el caso de producirse un cortocircuito, la llama no se propaga, apagándose por sí sola debido a los gases que se desprenden.

8. *Los roedores, termitas, hormigas, etc.,* no muestran ninguna atracción por los tubos de cloruro de polivinilo, como ocurre con el plomo, por ejemplo.

APLICACION DE LOS TUBOS DE CLORURO DE POLIVINILO

La aplicación de los tubos de cloruro de polivinilo es especialmente indicada en los siguientes casos:

Construcciones domésticas e industriales. Para la instalación de las líneas de luz y fuerza, así como para los circuitos de maniobra, control y señalización.

Ferrocarriles, aviones y barcos. Por su ligereza rebajan el peso muerto a transportar. Además, no se pueden olvidar sus características de autoextinguibles en caso de incendio, de gran importancia en los medios de transporte.

Minas, instalaciones industriales en ambientes húmedos e instalaciones portuarias. Por su reducida absorción de humedad, se protege completamente el aislamiento eléctrico y se evitan las derivaciones de corriente a tierra. Además, al no ser oxidables, los gastos de conservación se reducen mucho.

En las fábricas de productos químicos, en las cuales, indudablemente, las instalaciones eléctricas están sometidas a la acción de atmósferas corrosivas, sustituyen con ventaja a los tubos de plomo, hierro y aleaciones especiales anticorrosivas.

En las instalaciones a la intemperie, por su elevada resistencia al envejecimiento.

En los locales donde exista riesgo de incendio o explosión, por no ser inflamables y extinguir la llama por sí solos caso de producirse a causa de un cortocircuito. Como ya se ha indicado, los gases que se desprenden en la propia combustión actúan como autoextintores.

En instalaciones que deben permanecer en contacto con productos alimenticios, ya que no presentan ningún carácter de toxicidad.

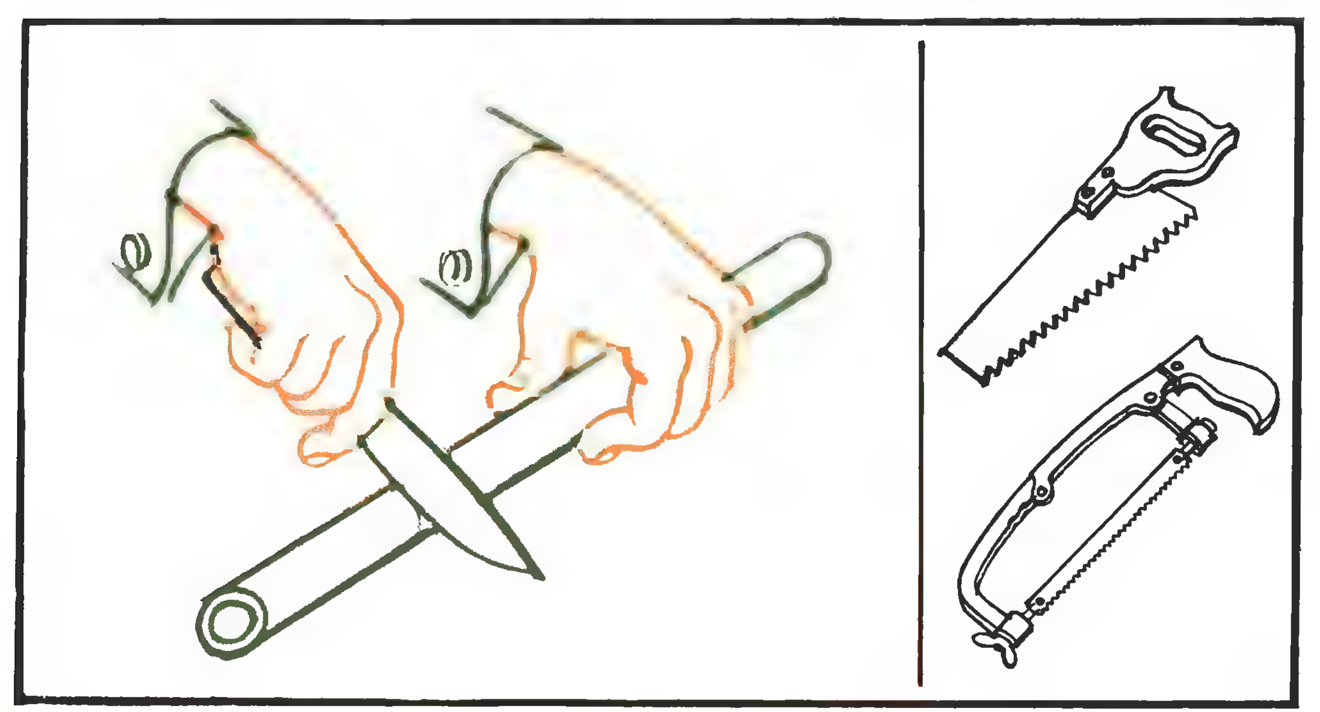
Hemos de hacer constar, comparados con los tubos de acero, que su coste es más bajo.

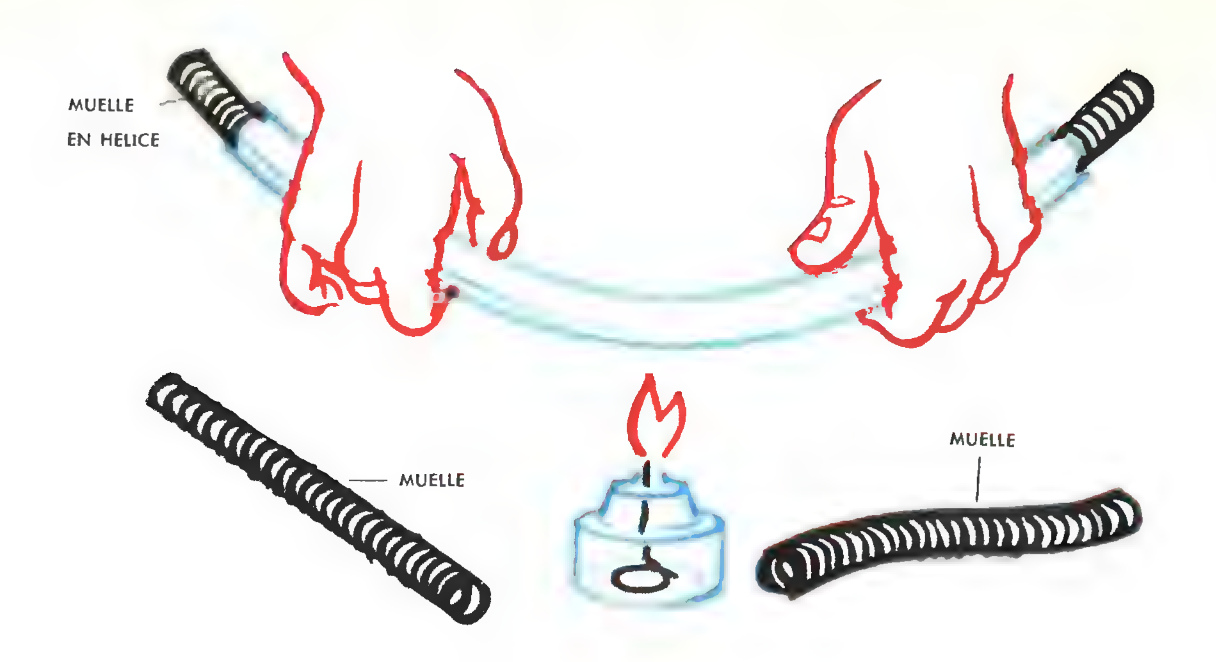
INSTALACION DE LOS TUBOS DE CLORURO DE POLIVINILO

Para la instalación de estos tubos no hacen falta herramientas especiales. Para roscarlos se utilizan las mismas terrajas y cojinetes que para los tubos de acero; y si bien es verdad que se fabrican curvas con los extremos roscados, lo normal es curvar el tubo durante la instalación sin necesidad de máquinas. Vea seguidamente su aplicación.

Estos tubos se caracterizan por la sencillez de su montaje, derivada de la facilidad de su mecanizado, que no precisa utilajes especiales. Esto permite que cualquier operario, sin preparación previa y sin grandes conocimientos, pueda llevar a cabo su instalación en perfectas condiciones.

Cortar los tubos de cloruro de polivinilo resulta sumamente sencillo y fácil, dada la dureza y rigidez del material, que a su vez es lo suficientemente blando como para evitar el astillamiento.





Una vez marcado el punto por donde se debe cortar el tubo, pueden utilizarse lo mismo sierras de carpintería que sierras para metales. Incluso puede emplearse una cuchilla, navaja, etc.

En cualquier caso, la operación es rapidísima y el corte muy limpio.

En toda instalación se presenta, por lo general, el problema de curvar los tubos en un determinado ángulo.

Para ello se aprovecha la propiedad que tiene el cloruro de polivinilo, de reblandecerse a temperaturas superiores a 70° C.

Una vez señalado el sitio donde conviene llevar a cabo la curvatura, se calienta mediante un mechero de gas, hornillo eléctrico, lamparilla de alcohol, por inmersión en agua caliente, etc., hasta que el material se ha reblandecido, procediéndose entonces a su curvatura.

En los tubos de pared gruesa, para evitar aplastamientos o deformaciones, el curvado debe efectuarse introduciendo en el tubo, antes de su calentamiento, una varilla de caucho, un tubo de goma o una espiral metálica.

Es conveniente tener en cuenta que el radio de curvatura ha de ser como mínimo cinco veces el diámetro del tubo, aunque excepcionalmente puede ser sólo dos veces.

Después del curvado se deja enfriar el tubo para que tome nuevamente su estado de rigidez primitivo. Para acelerar el enfriamiento, puede sumergirse el tubo en un recipiente con agua fría o humedecerlo por medio de un trapo empapado. Seguidamente se extrae la espiral de su interior, si se ha utilizado para el curvado.

Estos tubos pueden montarse con cajas de hierro, aluminio, baquelita antichoque, araldita (resina sintética), etc.

Hoy en día se fabrican prácticamente todos los accesorios en plástico, para las instalaciones con tubo de cloruro de polivinilo. Manguitos de unión, curvas, cajas de varios tamaños para diversas aplicaciones con salidas roscadas a distintos diámetros, grapas de plástico, etc.

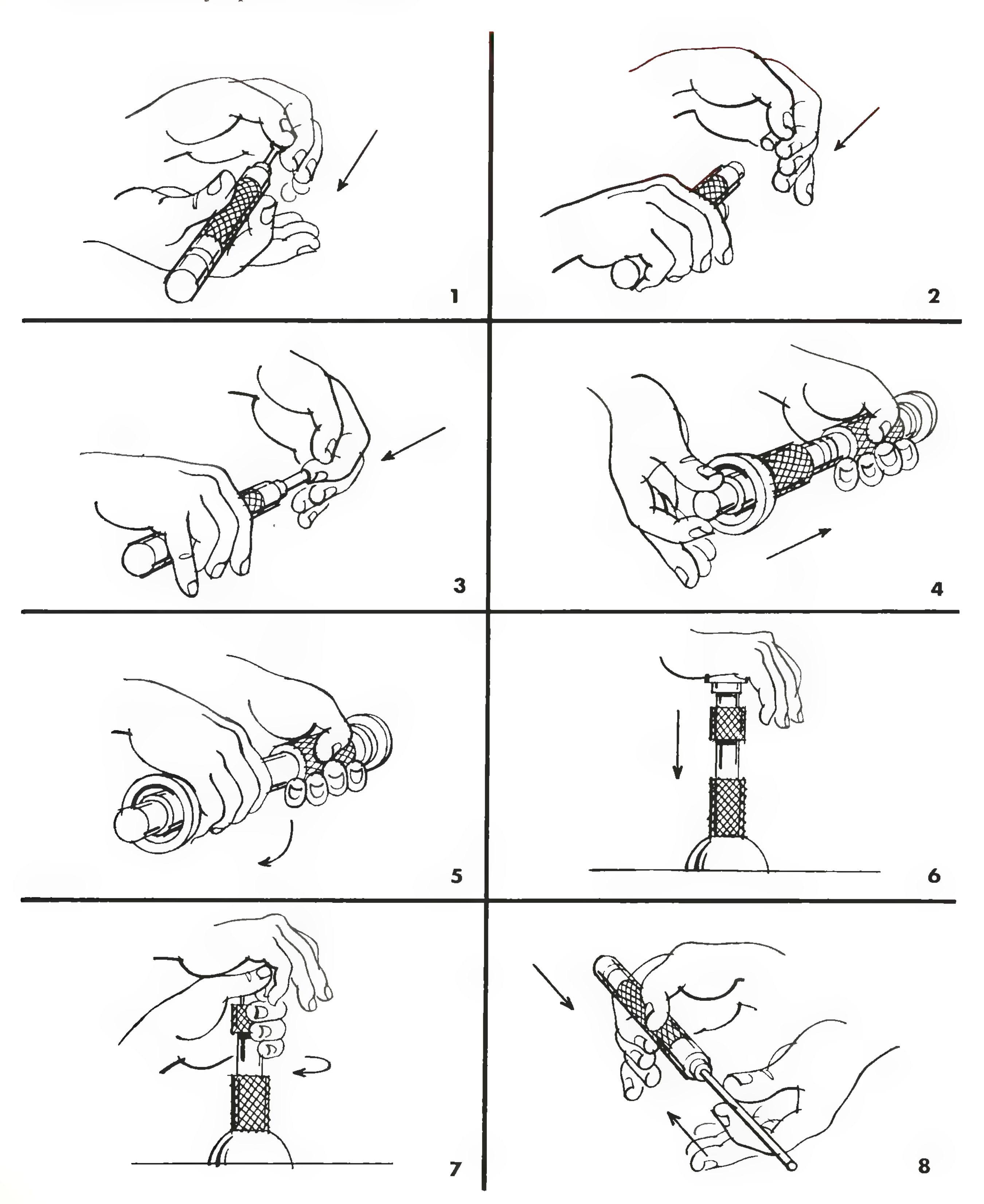
En las instalaciones con tubo de cloruro de polivinilo hay que tomar las mismas precauciones que para la utilización de los conductores con aislamientos plásticos. Las líneas deben estar bien dimensionadas para evitar calentamientos excesivos, que pueden llegar a reblandecer el plástico. No hay que olvidar que el cloruro de polivinilo con la temperatura se reblandece y puede llegar a fundirse.

Una instalación con tubo de cloruro de polivinilo puede hacerse completamente estanca si se tiene la precaución de pintar con minio de plomo, las roscas antes de su montaje y se atornilla fuertemente el tubo, bastando para ello hacerlo con las manos. O sea, que no es preciso utilizar ni la empaquetadura de cáñamo ni llaves.

Tanto para el tubo de acero como para el de cloruro de polivinilo, en instalaciones industriales generalmente vistas, o sea, sin empotrar, es indicadísimo utilizar material de clavazón del tipo a propulsión. Se fabrican martillos que funcionan de forma similar a las pistolas; es decir, que *disparan* el clavo, aprovechando la fuerza de expansión de los gases producidos por la explosión de un cartucho, provocado por un percutor.

INSTRUCCIONES PARA EL MANEJO DEL MARTILLO PISTOLA

Tomamos como ejemplo un martillo BH.



1. Se introduce el clavo en el cañón correspondiente. Cañón de 8 mm para clavo M6 y de 10 mm para los clavos M8.

2. Se monta la recámara.

3. Se coloca la carga elegida en el interior de la cámara. Según la carga, mayor o menor será la fuerza expansiva. La potencia de la carga depende de la dureza del material donde quiere clavarse el perno y del tipo de clavo utilizado.

4. El cañón así dispuesto se introduce en el martillo hasta que empiece a roscarse al asiento-percutor.

5. En la posición del grabado, roscarlo hasta el tope.

6. Se apoya la parte inferior del martillo en el sitio donde se debe efectuar la fijación y se presiona la empuñadura, hasta que cedan en su totalidad los dos muelles interiores.

7. Accionar el mando de disparo hacia la derecha hasta que se efectúa la explosión.

8. Extraer la cápsula vacía de la recámara. Se coloca la recámara en el hueco del expulsor de propulsores y golpeando la baqueta introducida en su interior se hace saltar la cápsula.

Cuando el martillo trabaja continuamente, resulta más apropiado utilizarlo casi en seco, o sea muy poco engrasado en todas sus piezas, procurando limpiar el asiento percutor cuando empiece a notarse que falla alguna vez al intentar el disparo.

Para obtener una larga duración de la herramienta y tenerla siempre en perfectas condiciones de funcionamiento se recomienda de manera especial dejar debidamente engrasadas con aceite (no grasa) la totalidad de las piezas que componen el martillo, cuando deba permanecer inactivo durante unos días.

Las recámaras, cuando no se empleen, deben guardarse en una cajita metálica y engrasarlas interiormente con aceite.

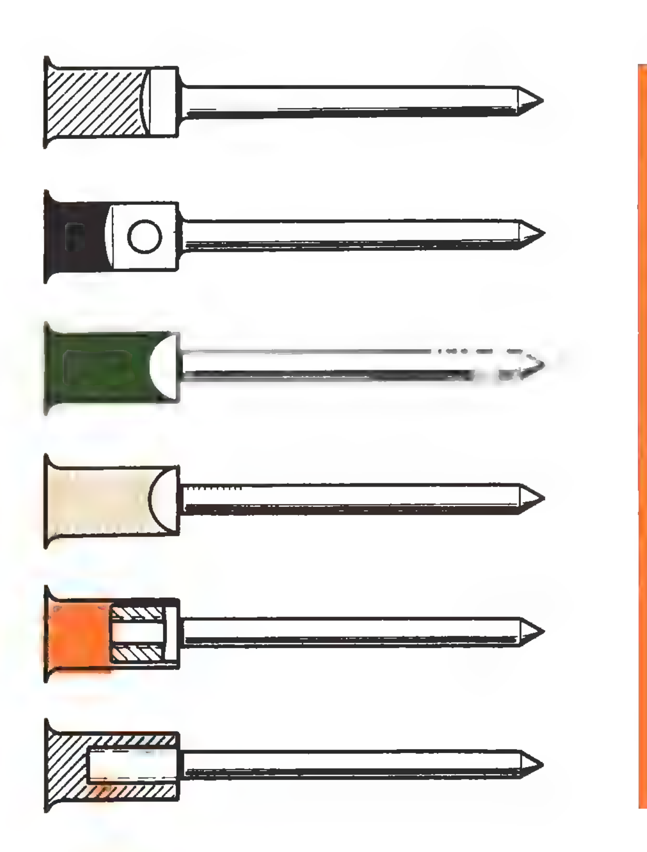
A continuación describimos los distintos tipos de clavos y accesorios que ofrece el fabricante.

Los clavos para este martillo se fabrican con una guía de protección en materia plástica. Las ventajas más importantes de esta guía son, según el fabricante:

1. Conservación indefinida de la herramienta por no producirse desgaste que disminuye su fuerza impulsiva, al no hacer rozamientos de partes metálicas.

2. Completa seguridad en el funcionamiento, eliminando toda clase de posible retroceso.

3. Absoluta precisión para fijar el clavo en el lugar destinado.



Cabeza cilíndrica

Cabeza cilíndrica con agujero de 4 mm. Ø

Cabeza convexa estampada

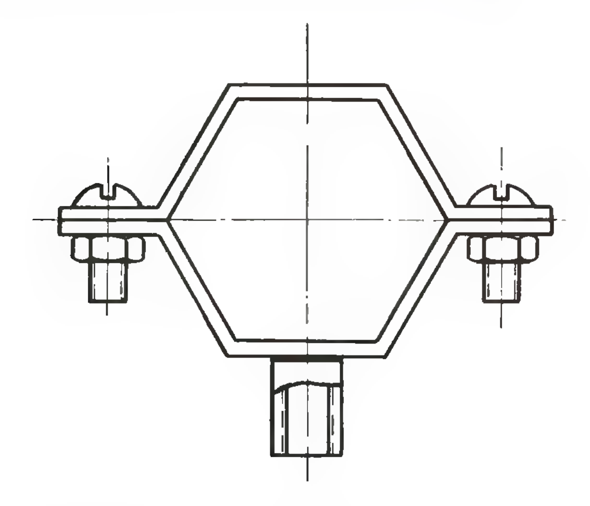
Cabeza convexa. Acero dulce

Cabeza cilíndrica con rosca interior de 3/16″ ó 5/32″

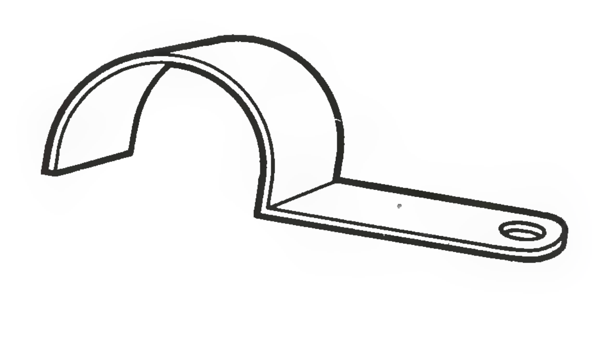
Cabeza cilíndrica roscada en paso métrico de 6 u 8 mm. Ø

Para distinguir el tipo de cabeza de cada clavo, el fabricante emplea distintos colores en su guía de protección de materia plástica; la que, naturalmente, se quita una vez colocado el clavo.

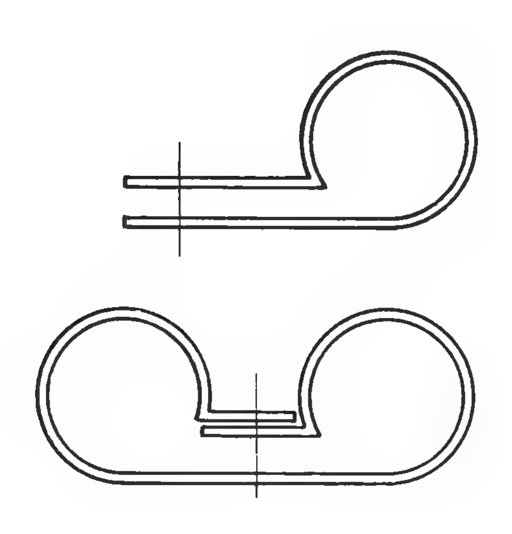
Descripción de los distintos modelos de clavos:
Para estos clavos se construye una gama completa de accesorios, de los cuales reproducimos los de mayor aplicación.



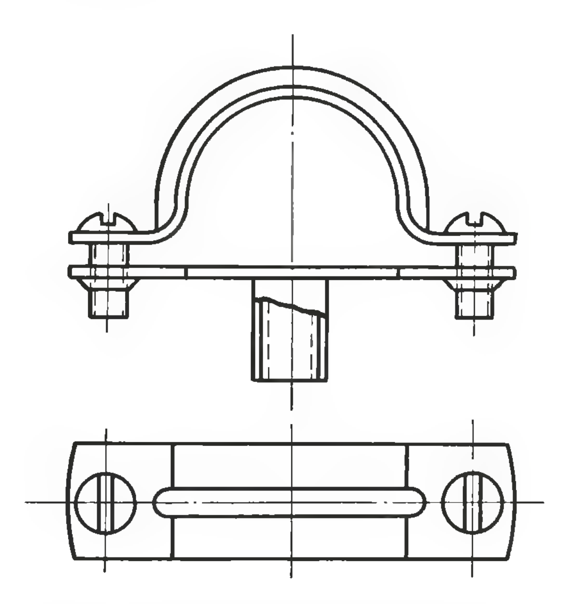
Abrazaderas exagonales indicadas para la sujeción de tubos.



Abrazadera con pata indicada para fijación de tubos en general.



Abrazaderas de lazo indicadas para tubo bergmann, emplomado y tubo de plástico.



Abrazaderas indicadas para las instalaciones con tubo. Su construcción es más sólida que las exagonales.

ELECTRICIDAD

Generadores de c. a.
Alternadores
Estudio descriptivo

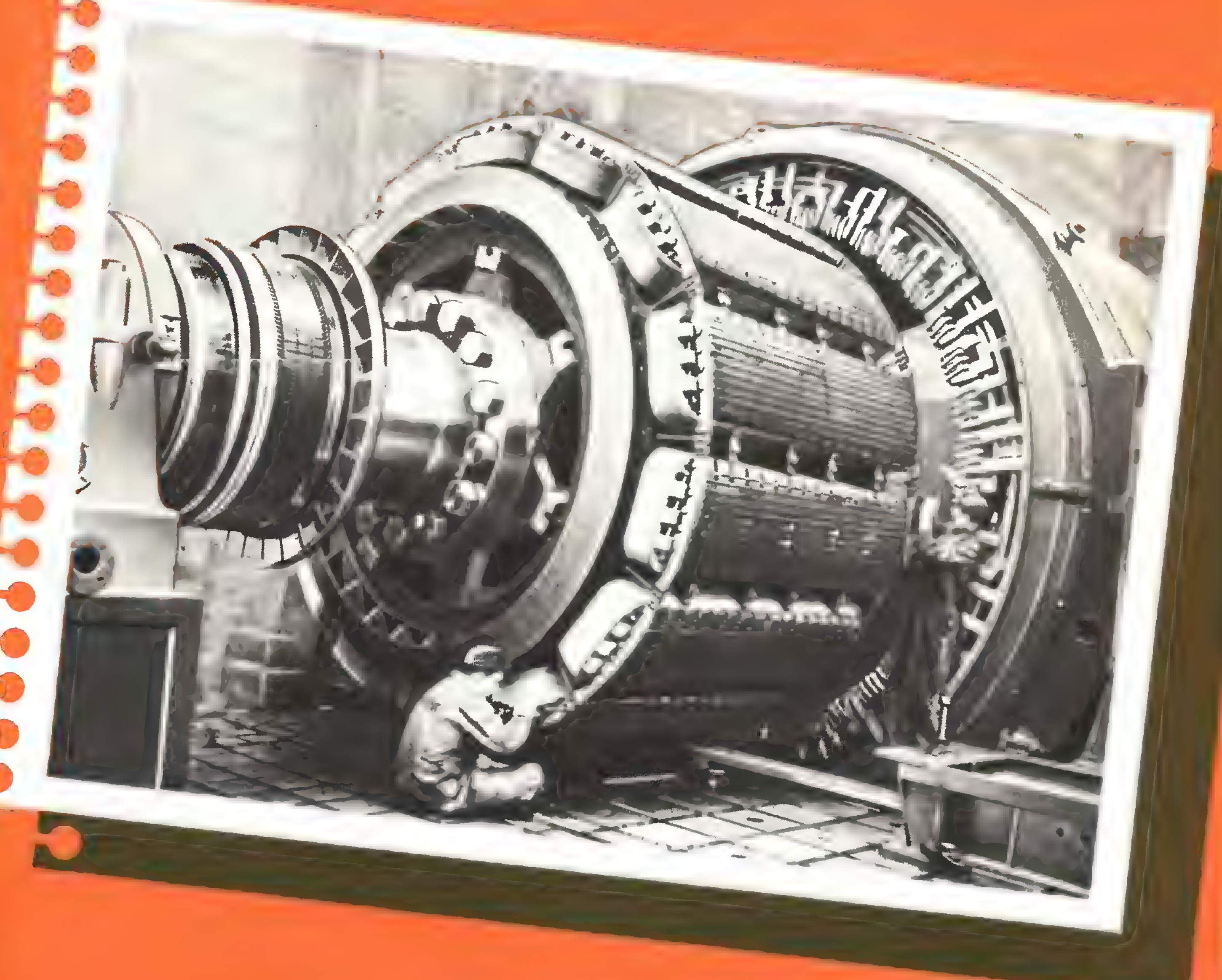


LECCION Nº 19

electrotecnia

19

Generadores de corriente alterna
Estudio básico de alternadores



INTRODUCCION

Una lección destinada al estudio de los alternadores merece y necesita una introducción, unas palabras previas que pongan al lector en antecedentes de lo que va a leer. Es así por cuanto se trata de una temática endiabladamente extensa, compleja y difícil.

Entender de alternadores, en el sentido global de todo lo que a ellos se refiere, es algo que sólo está al alcance de quien puede atender a un proceso de especialización profundo y minucioso y posea en su haber intelectual una preparación físico-matemática de alto nivel.

Sería absurdo pretender que en una obra como la nuestra figurase una lección profundamente especializada sobre un tema cuyo total dominio no puede estar al alcance sino de quienes han alcanzado una formación técnica a nivel de ingeniero.

Sin embargo, en un tratado general de electricidad no puede soslayarse el estudio de algo tan importante como los generadores de c.a.

Los hemos afrontado con ánimo decidido, dando capital importancia a las cuestiones constructivas, por creer que es en este aspecto donde el técnico, en general, puede tener su campo de acción.

Sepa, en definitiva, que esta lección sólo pretende ser una información divulgatoria de los múltiples detalles y problemas inherentes a un alternador.

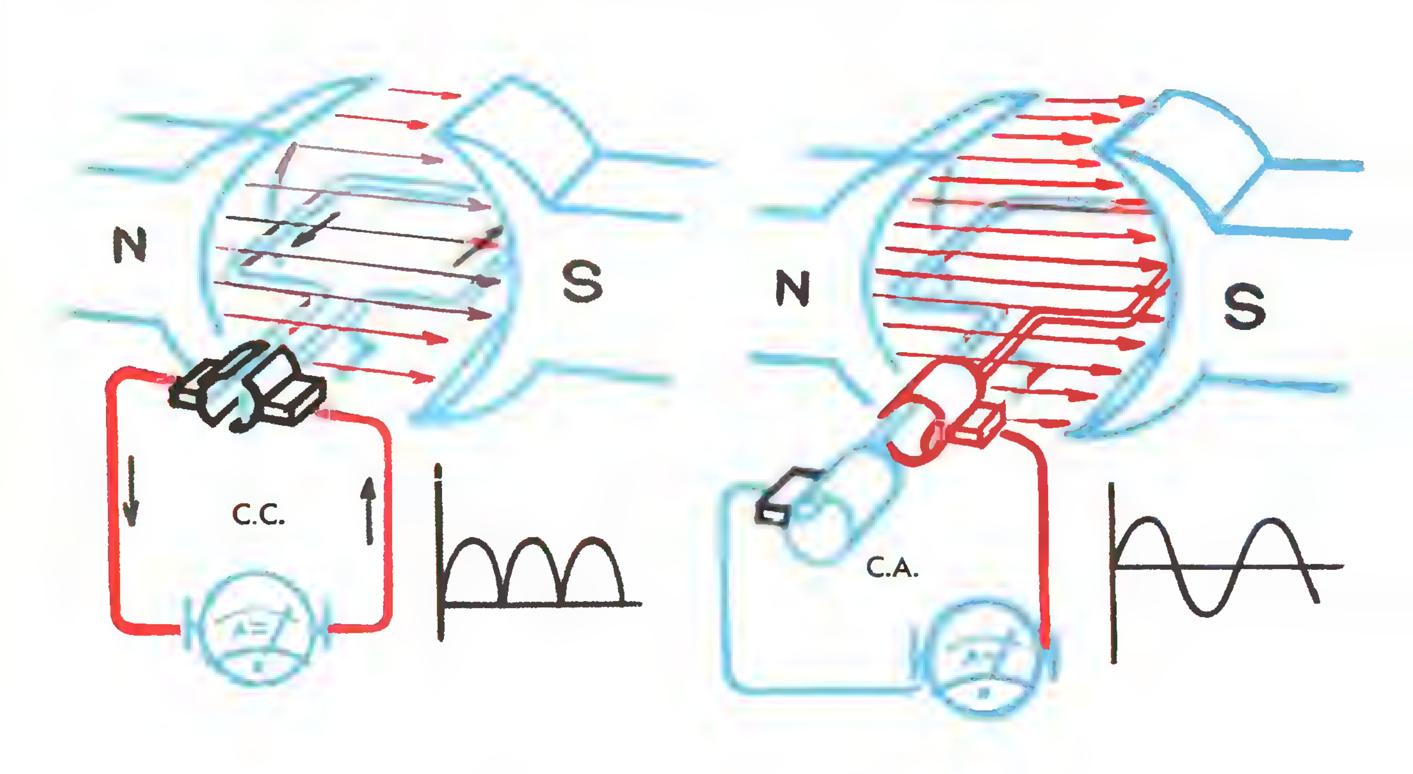
EL PRINCIPIO DEL ALTERNADOR

Recordará, sin duda alguna, que al estudiar el principio del generador elemental vimos cómo las delgas recogían una corriente inducida cuyo sentido se invertía en cada semiperíodo. Lo recuerda, ¿verdad?

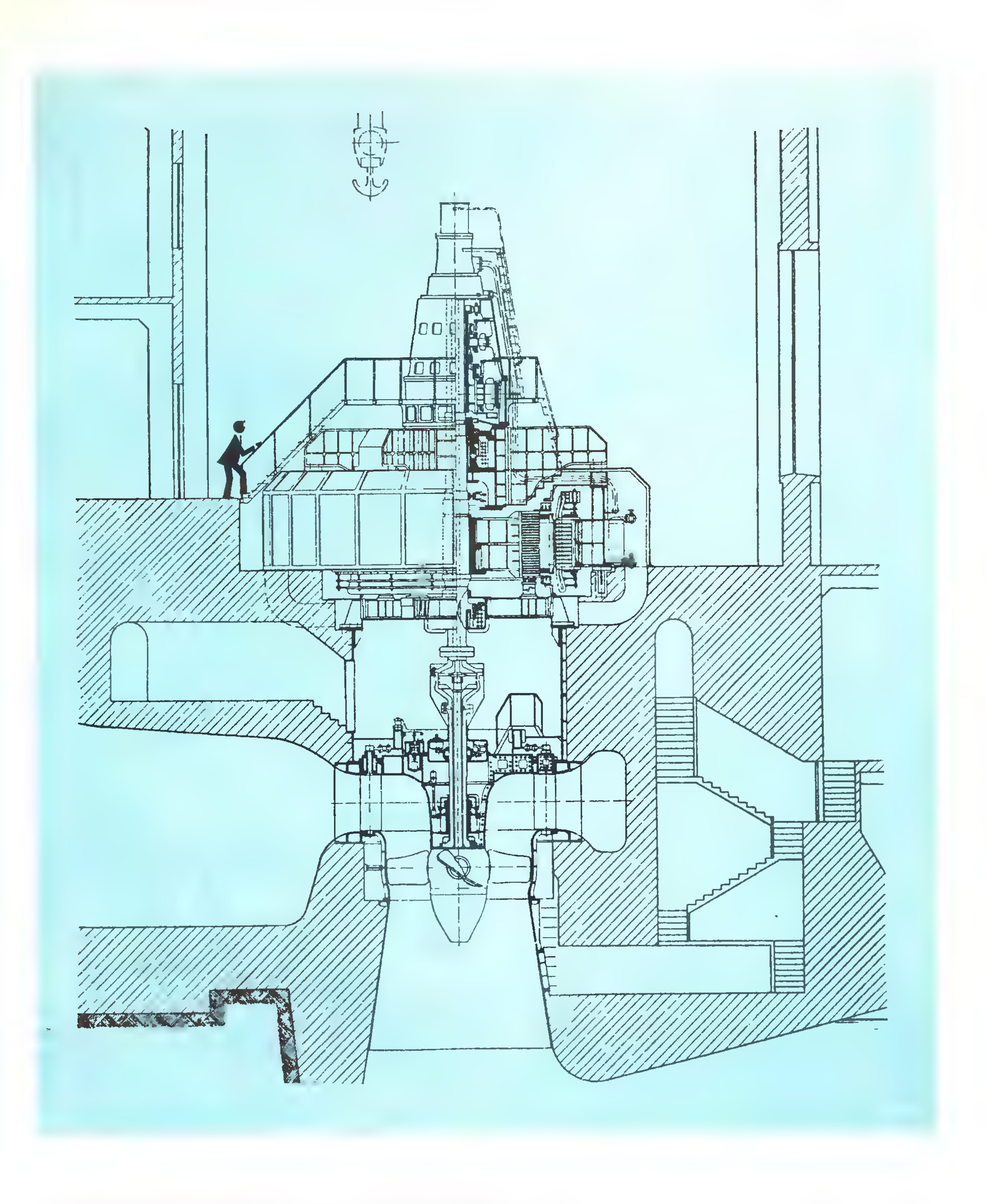
Es decir: la corriente que, *sin trampa*, obteníamos en los extremos de una bobina móvil que giraba en un campo magnético, es una corriente alterna. Gracias al colector y a lo que llamábamos conmutación, las escobillas recogían una corriente continua.

Luego; el mismo principio es válido para los generadores de c.c. y los de c.a., lo cual nos ahorra una explicación que, en definitiva, sería una reiteración de la base de siempre: un conductor que se mueve en un campo magnético está recorrido por una corriente inducida en él.

Los generadores de corriente alterna reciben el nombre de alternadores. El desarrollo industrial y económico de un país se halla íntimamente ligado a su capacidad de producción de fuerza motriz, índice de sus reservas de energía. En la transformación de esta energía los alternadores han jugado y juegan un importantísimo papel, dado que su constitución, fácilmente adaptable en vistas a esta transformación, y el gran tamaño que actualmente puedan alcanzar (grandes potencias, en consecuencia) han permitido la instalación de grandes centrales eléctricas, que son orgullo del pueblo que las posee.



Es la conmutación en el colector lo que nos proporciona una corriente continua.



Este dibujo resulta muy elocuente como ilustración destinada a demostrar los grandes tamaños que actualmente alcanzan los alternadores. Vea este alternador de eje vertical acoplado a una turbina Kaplan y compare su tamaño con el del muñeco dibujado.

ROTOR Y ESTATOR

Un alternador, como toda máquina eléctrica destinada a la producción de energía eléctrica o de fuerza motriz a partir de un movimiento de rotación, está formado, básicamente, por dos órganos concéntricos. Uno de estos órganos es fijo y recibe el nombre genérico de ESTATOR; el otro órgano gira concéntricamente con dicho estator y su nombre es ROTOR. Uno de estos órganos cumple con la misión de crear un campo magnético inductor que hace que el otro órgano se convierta en receptor de corrientes inducidas, experimentando la reacción oportuna.

En el caso concreto de los alternadores, ¿cuál es el órgano inductor?... Es evidente que tanto el rotor como el estator puede actuar como inductor; todo depende de si consideramos un campo fijo o un campo giratorio.

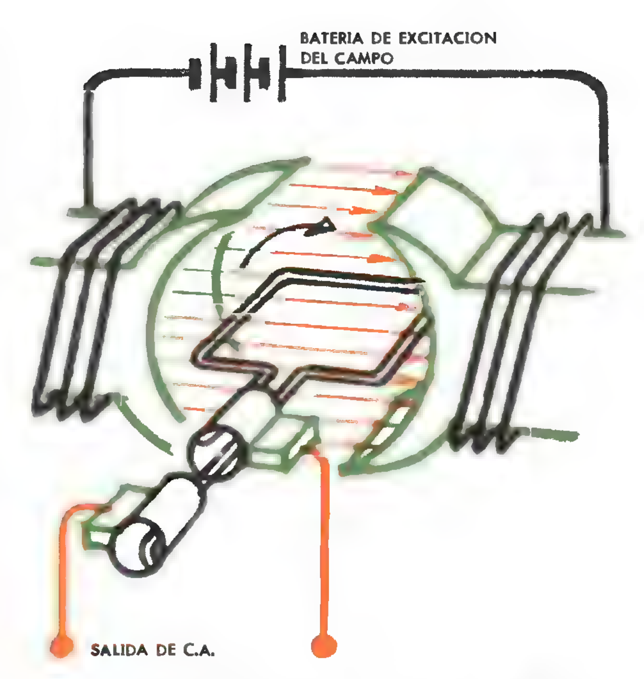
Sin apartarnos del gráfico que venimos utilizando para representar el generador elemental, nos resultará muy fácil apreciar la diferencia entre un alternador de inducido giratorio y otro de inducido fijo.

Cabe preguntarse cuál de las dos fórmulas es la más aceptada, y a ello debe responderse que la segunda. La inmensa mayoria de los alternadores son de rotor inductor. Hay una razón poderosa para que así sea.

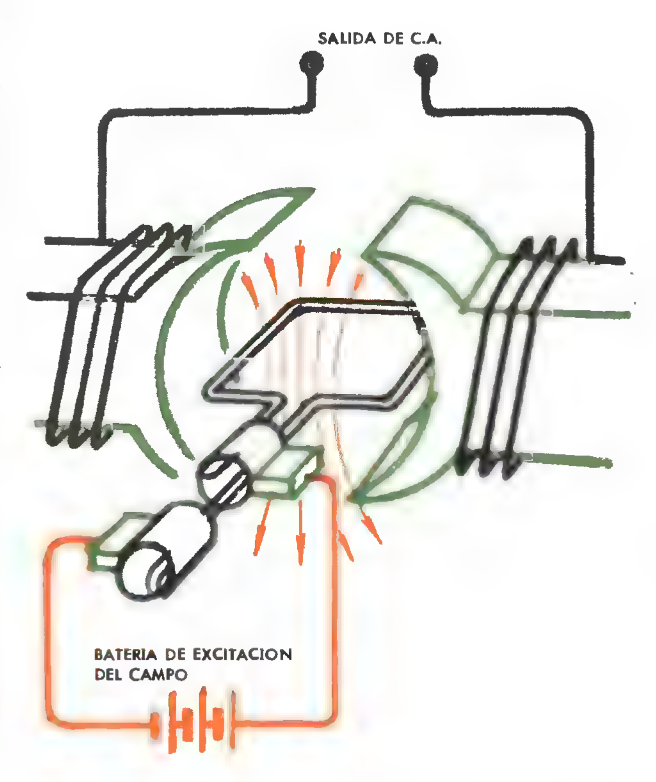
El alternador de inducido fijo tiene el campo inductor rotatorio, lo que presenta la ventaja de que la corriente generada puede conectarse directamente a la línea de carga. Un inducido rotatorio, en cambio, requiere anillos de contacto a través de los cuales se alimenta el circuito de carga. Y como tales anillos deben montarse al aire y por lo general soportan tensiones elevadas, el peligro de chispas y cortocircuitos es siempre notable.

En los alternadores de inductor rotativo la corriente aplicada a los anillos es siempre una corriente continua de bajo voltaje (corriente de excitación del campo), con lo cual se evita el problema de la formación de arcos en los anillos de contacto.

Observe que acabamos de hablar de una corriente de excitación del campo. En efecto, tal corriente es imprescindible en todo alternador, puesto que la corriente alterna no puede dejar magnetismo remanente en el núcleo magnético del inductor. La corriente de extitacion la suministra, en casi todos los casos, una dinamo montada sobre el mismo eje del alternador.

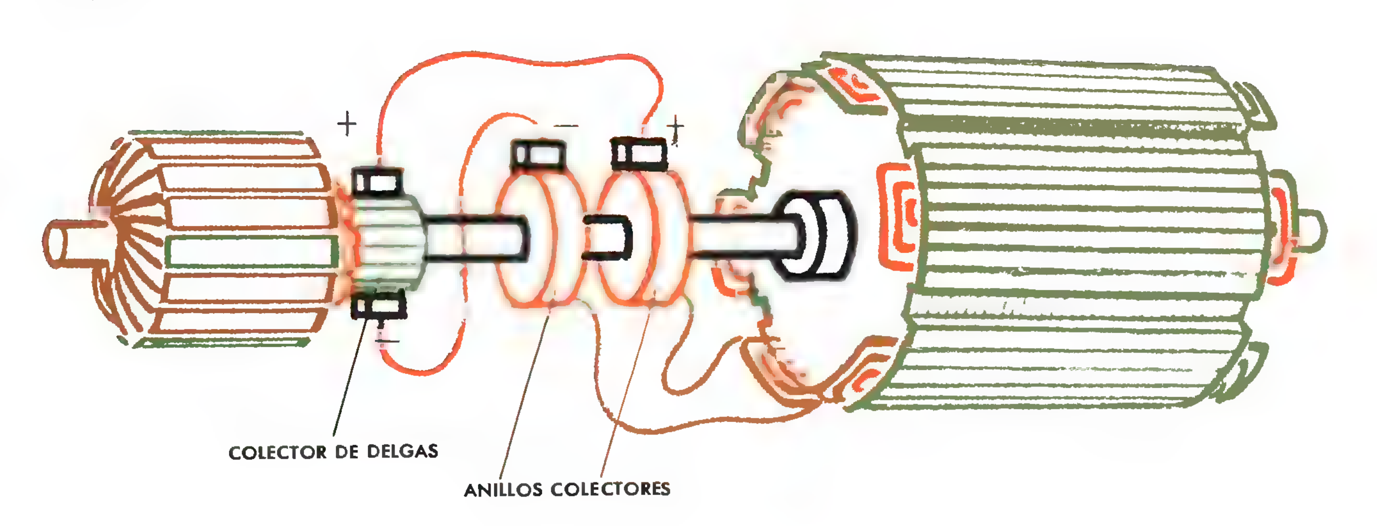


ALTERNADOR CON INDUCIDO GIRATORIO. La corriente alterna se recoge en los anillos de contacto.



ALTERNADOR CON INDUCIDO FIJO. El campo inductor es giratorio y la corriente alterna se recoge en los extremos de las bobinas del inducido (estator).

La corriente de excitación del campo inductor la proporciona una dínamo montada sobre el mismo eje del alternador.

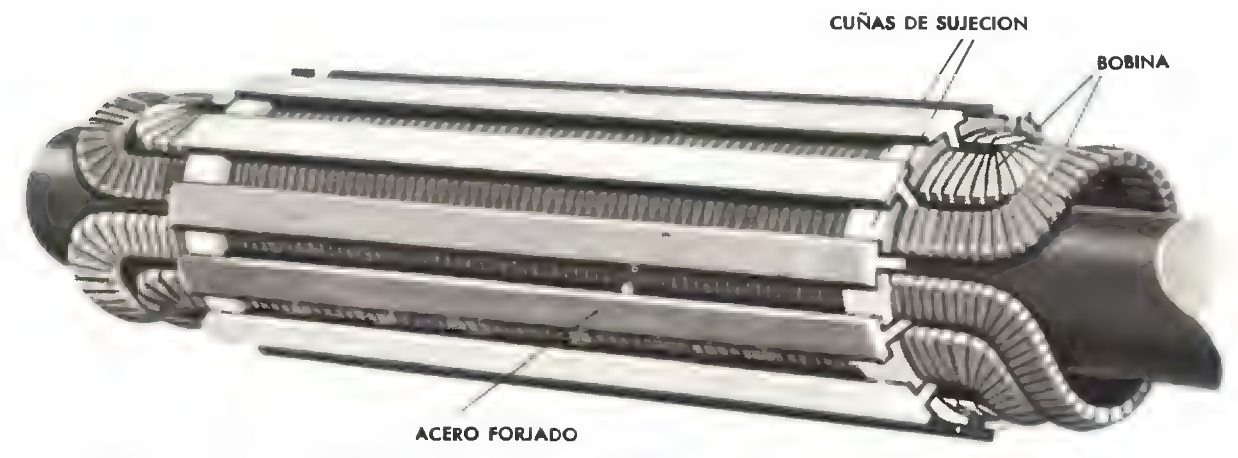


INDUCTOR DE POLOS SALIENTES E INDUCTOR DE POLOS LISOS

Debe saber que existen dos tipos de alternadores, que se diferencian por la forma en que se produce la f.e.m. en el arrollamiento inducido. El inducido de los alternadores *heteropolares* está formado por bobinas a flujos alternos, cada una de las cuales rodea un núcleo magnético; dos núcleos consecutivos emiten fllujos alternos, igual que en una dínamo. Los alternadores *homopolares* producen, en los bobinados inducidos, flujos que tienen siempre el mismo sentido, pero que son variables en intensidad. Estos alternadores sólo se utilizan para la producción de corrientes de alta frecuencia.

Por tanto, centraremos nuestro interés en los alternadores heteropolares, que permiten la obtención de una amplia gama de potencias cuando las frecuencias son bajas (50 a 60 Hz). Estos alternadores se dividen en dos tipos: ALTERNADORES DE POLOS SALIENTES Y ALTERNADORES DE POLOS LISOS.

Que el rotor sea de polos salientes o de polos lisos depende exclusivamente de la velocidad a que deba girar. Existen alternadores de gran potencia, movidos por turbinas de vapor a alta presión, que proporcionan velocidad de rotación de orden superior a 1200 r.p.m. Para estas velocidades es imprescindible emplear rotores cilíndricos de escaso diámetro, cuyas bobinas queden fuertemente aseguradas en el interior de ranuras, y



Aspecto de un rotor a polos lisos para alta velocidad: 1.200 r.p.m. o mas.



Rotor de polos salientes: Aparece perfectamente clara la independencia del bobinado de cada una de las piezas polares unidas al bastidor o rueda polar.

dispuestos de forma que actúen dos o cuatro polos distintos. Sólo así, con este tipo de construcción, es posible que el rotor resista la enorme fuerza centrífuga a que se le somete.

Cuando la velocidad de giro del rotor (inductor) debe ser más bien moderada (del orden de 200 r.p.m.) se prescribe el tipo de POLOS SALIENTES. En los alternadores de este tipo el rotor consta de varias piezas polares, bobinadas por separado y fuertemente sujetas al bastidor solidario del eje.

Hemos dicho que la conveniencia de emplear un tipo de rotor o el otro depende de la velocidad de giro. Añadamos ahora que siendo la potencia determinante de esta velocidad —o a la inversa—, también la cantidad de voltamperios exigibles al alternador condiciona la adopción de rotor de polos lisos o de polos salientes.

Se da el caso de que las grandes industrias prefieran producir la fuerza motriz que necesitan, para cuyo fin emplean por lo general tuboalternadores (alternadores accionados por turbina de va-

por). Normalmente, cuando la potencia de estas unidades es superior a 5000 KVA se utilizan alternadores a polos lisos. Entre 1500 y 5000 KVA pueden usarse indistintamente ambos tipos. Para potencias inferiores a 1500 KVA muy raramente se utilizan inductores de polos lisos.

DATOS CONSTRUCTIVOS PARA ALTERNADORES. CONSTITUCION DE LOS ESTATORES SOMETIDOS A FLUJOS MAGNETICOS VARIABLES

Los inducidos de los alternadores son las partes fijas o estator. Los devanados de estos inducidos están recorridos por las corrientes, alternas generadas, debido a lo cual quedan sometidos a flujos magnéticos variables.

Por tanto, y como siempre que se trata de canalizar un flujo variable, el cuerpo del estator está formado por un empilado de chapa magnética dispuesta en el sentido del flujo, o sea, en el sentido transversal de la máquina.

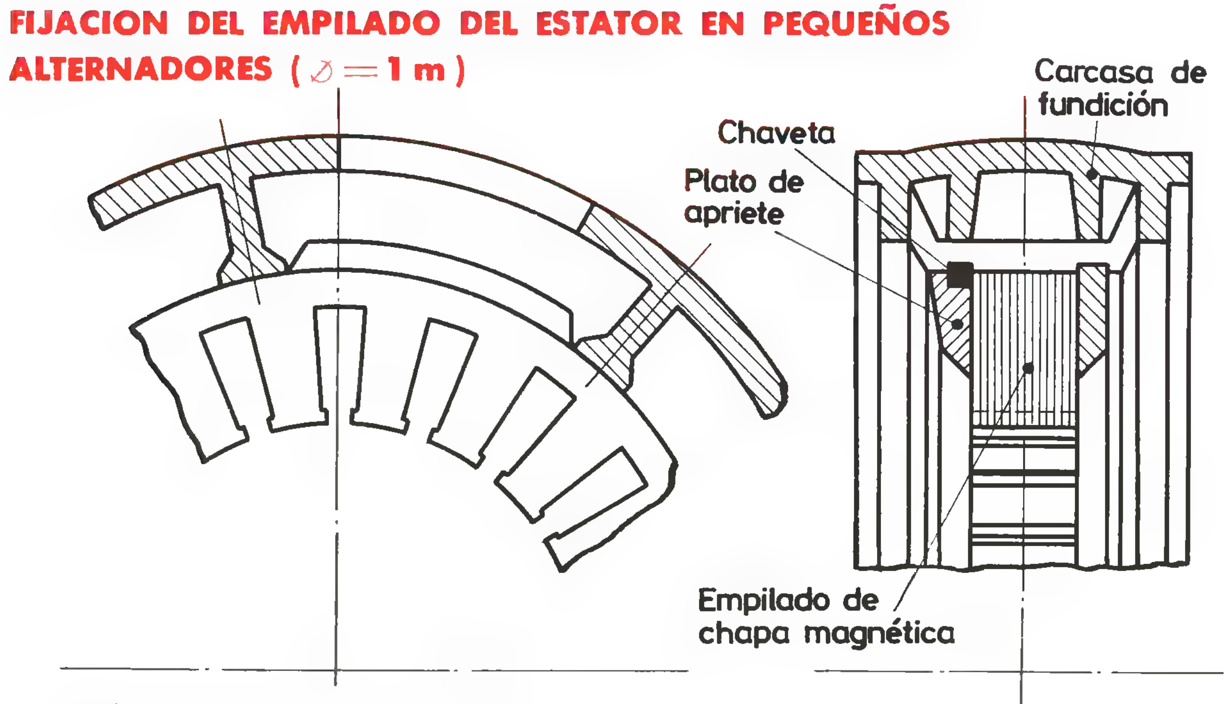
Para corrientes de frecuencia normal (50 Hz) el espesor de la chapa del estator (inducido) puede variar entre 0'3 y 0'5 mm. En alternadores de alta frecuencia el espesor de la chapa es inferior a 0'1 mm.

Las chapas, una vez empiladas, se fijan y aprietan entre dos platos con una presión del orden de 10 kg/cm², para evitar que la pulsación del flujo que las atraviesa provoque vibraciones.

Debe evitarse que los bulones de fijación de las chapas queden situados en las partes activas, puesto que estos bulones, en unión de los platos de apriete, actuarían a modo de espiras de cortocircuito y ocasionarían corrientes y pérdidas importantes. La parte activa del circuito magnético inducido se monta sobre una carcasa, por lo general de fundición, a la que se acoplan y fijan los platos de apriete y sujeción del empilado.

Los procedimientos de fijación y apriete del empilado del estator varían según su tamaño. Para diámetros no superiores a 1 m, las chapas pueden cortarse de una sola pieza, cosa que simplifica considerablemente su montaje. Estas planchas se centran con los nervios de la carcasa. Su fijación y apriete puede hacerse por varios sistemas, sobre los cuales nos ilustran las figuras adjuntas.

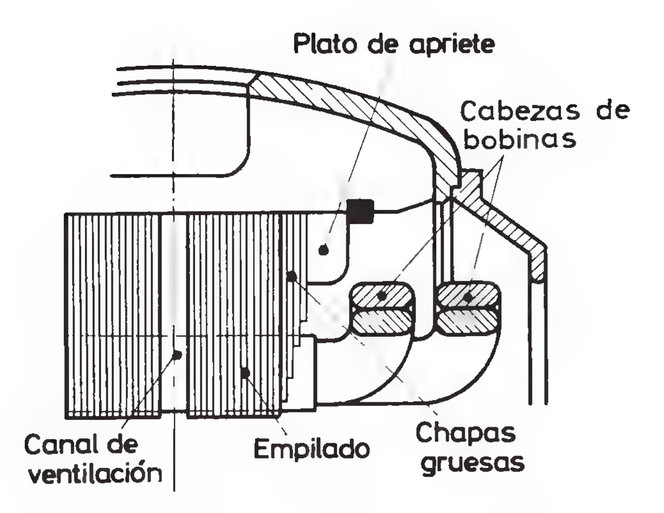
FIJACION DEL EMPILADO DEL ESTATOR EN PEQUEÑOS ALTERNADORES (∅ = 1 m)

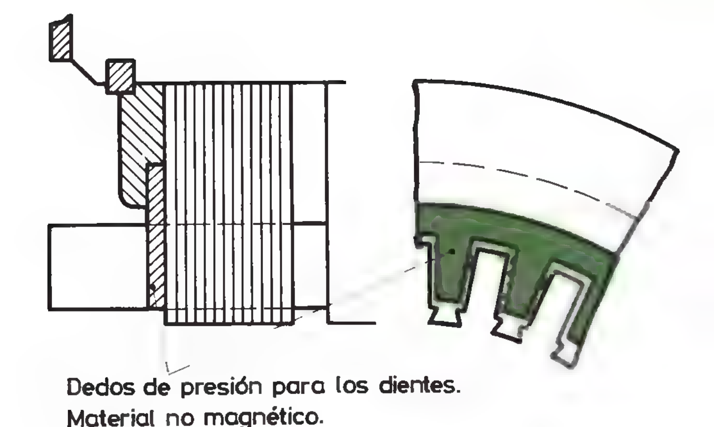


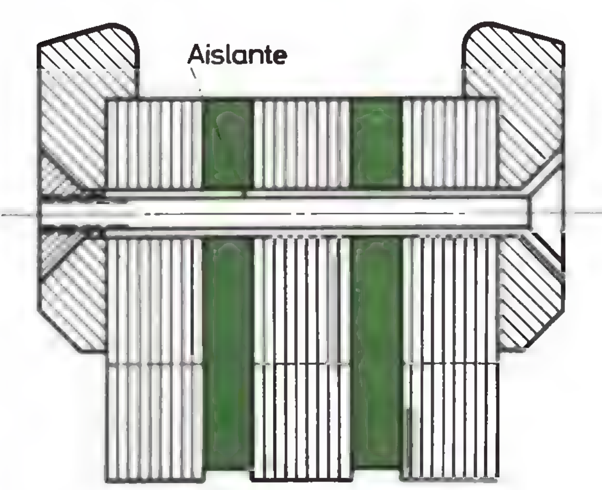
Fijación mediante platos de apriete y chavetas.

Para evitar que las primeras chapas se curven hacia afuera, se intercalan entre ellas y los platos de presión tres o cuatro chapas más gruesas y escalonadas que actúan a modo de muelle, presionandolas hacia adentro.

Algunas veces se sustituyen estas planchas por una sola pletina en forma de rueda dentada que presiona sobre todos los dientes de la chapa. Estos dientes reciben el nombre de DEDOS DE PRESIÓN y son de material no magnético.







Sujeción del empilado mediante pernos roscados que atraviesan las chapas.

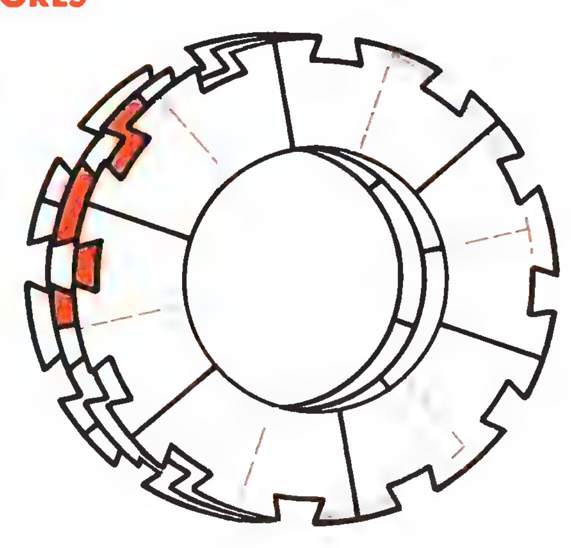
ESTATORES PARA GRANDES ALTERNADORES

Cuando el diámetro exterior del circuito magnético rebasa la longitud de un metro, las chapas que lo forman no pueden cortarse de una sola pieza. En estos casos la corona de chapas se divide en un número determinado de segmentos que luego se apilan cruzando las juntas.

El montaje de las chapas en la carcasa usualmente se consigue con chavetas de guía de sección diversa (rectangular, circular, cola de milano, etc.), fijas por medio de tornillos o soldaduras a los nervios de la carcasa. Añadimos una figura donde aparece uno de estos montajes.

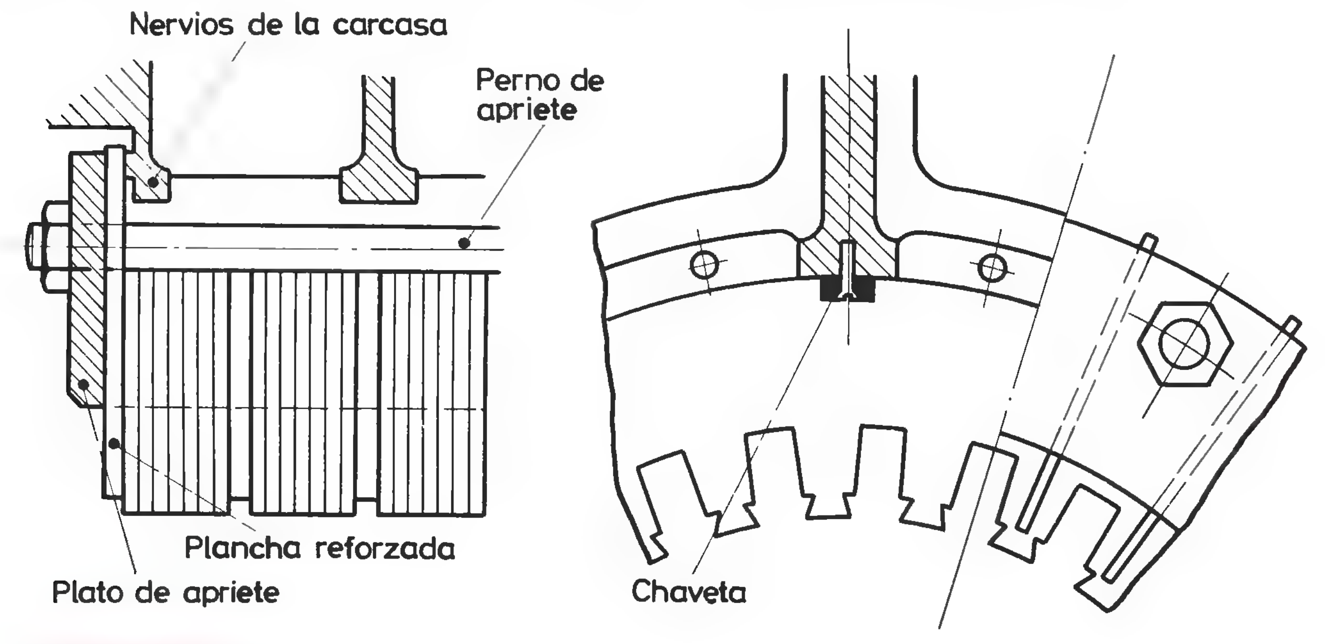
El apretado y sujeción de la chapa, que forma paquetes elementales distanciados por separadores, puede asegurarse por medio de platos circulares de apriete, que en el caso de las grandes máquinas no se fijan, con chavetas, sino con pernos o bulones roscados.

En el caso de los turboalternadores, que requieren chapas de grandes diámetros, los platos



Montaje a juntas cruzadas de un estator de gran tamaño. Para no complicar el dibujo (estrictamente demostrativo) no se han trazado las ranuras para los bobinados.

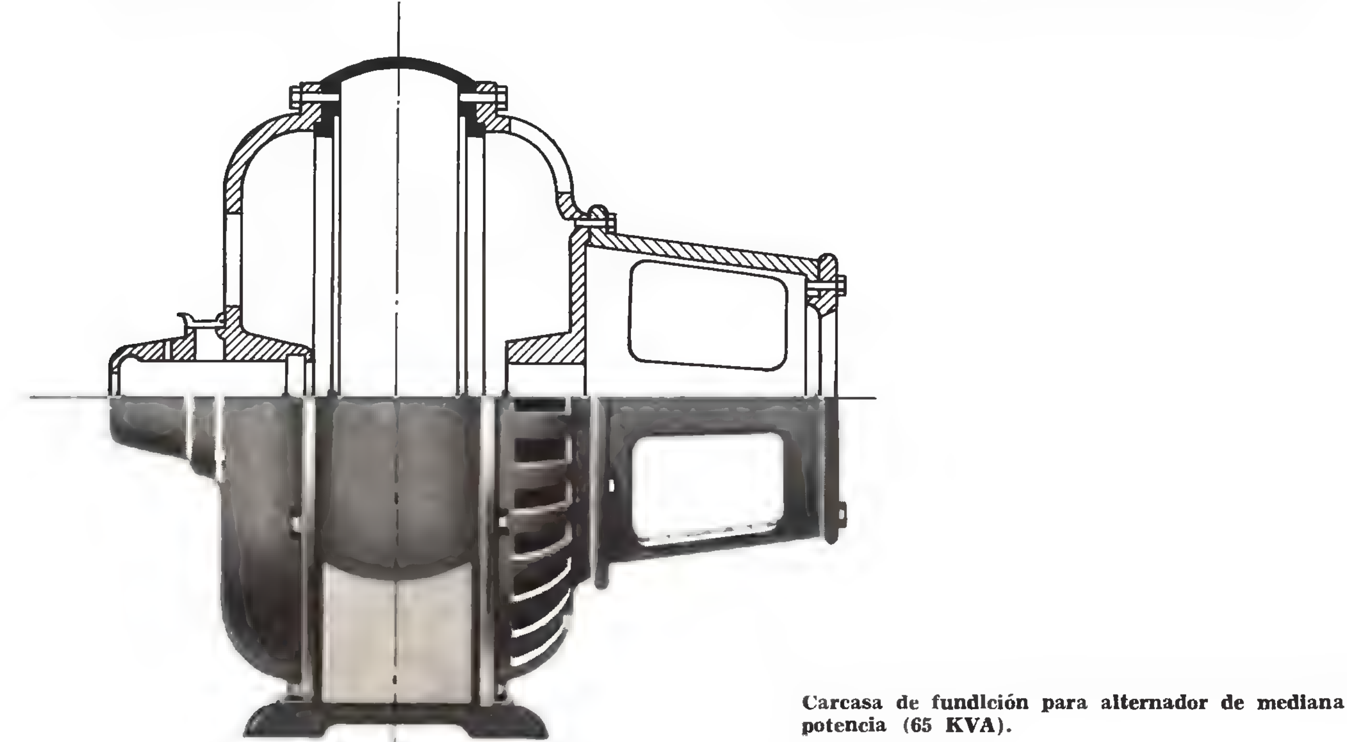
de apriete son dos placas circulares fuertemente nervadas y mantenidas por tuercas sobre vástagos roscados que prolongan las barras sobre las cuales están montadas las chavetas de guía del empilado. Los grandes esfuerzos a soportar perciben una gran fortaleza mecánica.



LA CARCASA

El material de la carcasa, así como el proceso de fabricación seguido, depende muy directamente del tamaño del alternador. No hace aún mucho tiempo las carcasas, tanto para máquinas pequeñas como para grandes máquinas, se construían de fundición de acero.

En la actualidad, para grandes alternadores, se construyen carcasas con elementos soldados de plancha de acero. Una carcasa de este tipo se compone de una serie de discos circulares separados por tirantes tubulares y rodeados por un cilindro de plancha que constituye la envolven-



Carcasa de fundición para alternador de mediana potencia (65 KVA).

te exterior. Unas barras transversales, soldadas a la periferia interior de los discos antes mencionados, soportan las chapas magnéticas; a menudo estas barras se prolongan por vástagos roscados sobre los cuales se atornillan los platos de apriete.

Los discos están formados por varios sectores de plancha unidos por soldadura. Según el tipo de máquina de que se trate, pueden cortarse de tal forma que constituyan al mismo tiempo las patas de sujeción del alternador al suelo. Se trata de una solución potestativa.

ESTRUCTURA DE LOS ROTORES SOMETIDOS A FLUJOS MAGNETICOS CONSTANTES

En su modalidad de generadores de corriente alterna en grandes centrales térmicas e hidráulicas las máquinas eléctricas alcanzan las mayores potencias. Se comprende que, desde el punto de vista mecánico, sea en los rotores de tales máquinas donde se presenten los problemas más difíciles de vencer por el fabricante.

Las soluciones mecánicas dadas a estos rotores son muy variadas, en directa dependencia de las condiciones eléctricas y mecánicas impuestas a la máquina. Dada una determinada potencia, la construcción del rotor de la máquina varía según la velocidad de régimen que deba adquirir y según el número de polos. También es un factor determinante la velocidad de embalamiento que debe ser capaz de soportar el inductor rotórico.

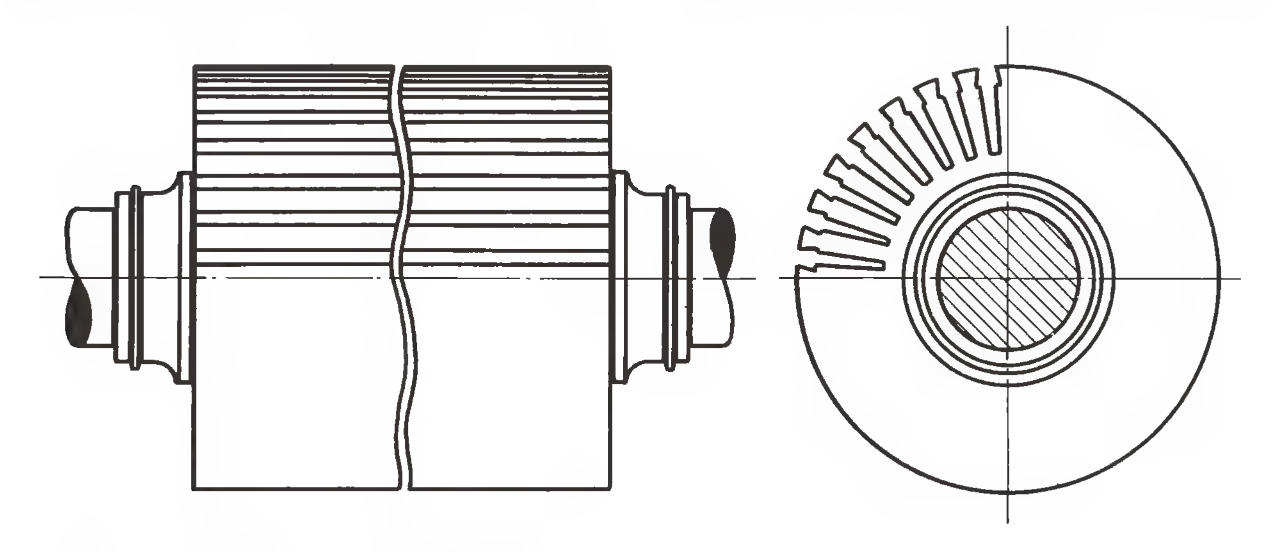
En fin; por muchas razones no puede hablarse de soluciones únicas, aunque sí de dos grandes grupos de rotores. Ya lo hemos dicho antes: podemos hablar de rotores de polos lisos, con los devanados ubicados en ranuras, y de rotores de polos salientes, cuyos devanados circundan sendas piezas polares.

El primer tipo (polos lisos) corresponde a generadores sincrónicos bipolares con velocidades del orden de 3000 r.p.m. y frecuencias del orden de 50 ciclos por segundo. El segundo tipo corresponde a generadores sincrónicos de mayor número de polos y cuya velocidad de rotación es mucho menor.

Rotores de turboalternador

La característica de funcionamiento más acusada para un turboalternador es su alta velocidad de giro. Esta velocidad es en Europa de 3000 r.p.m. (frecuencia de 50 Hz), y de 3600 r.p.m. en América (frecuencia de 60 Hz). Estos órdenes de velocidad obligan a la construcción de rotores de diámetro relativamente pequeño que proporcionen velocidades periféricas técnicamente aceptables.

En la mayoría de los rotores de este tipo, la corona del circuito magnético está mecanizada sobre el mismo árbol. Es decir: el árbol o eje de la máquina experimenta un ensanchamiento radial (valga la expresión) que forma la corona del circuito magnético. Para ganar espacio en el sen-



Rotor para turboalternador bipolar a 3.000 r.p.m.

tido del radio, las bobinas inductoras se colocan en ranuras obtenidas por operaciones de fresado que se practican en sentido axial.

Una vez se han introducido los conductores del arrollamiento inductor en el interior de las ranuras del rotor, se procede a cerrar dichas ranuras con calas de bronce de sección conveniente. De esta forma se evita que los conductores salgan despedidos por la acción de la fuerza centrífuga.

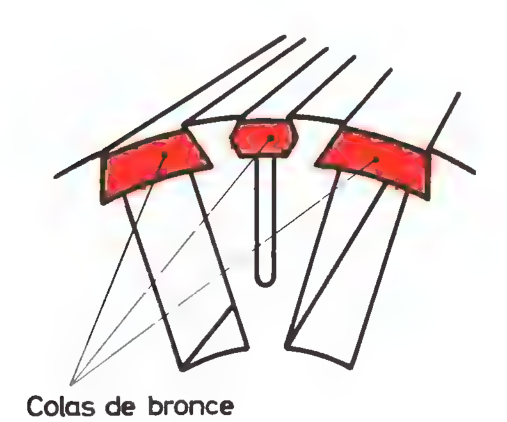
Un detalle constructivo que difícilmente pueden demostrar las figuras es éste: las ranuras en que se alojan los conductores del estator no son todas del mismo tamaño, y en general contienen una cantidad decreciente de conductores a medida que se acercan al eje de uno de los polos. De esta manera se mejora la forma del campo inductor.

Las partes frontales de las bobinas inductoras se mantienen fijas por medio de un zuncho cilíndrico, que se apoya por un extremo sobre el cuerpo del rotor y por el otro sobre un plato circular montado sobre el árbol. Estos zunchos están sometidos a grandes esfuerzos mecánicos, por lo que deben construirse con aceros muy resistentes.

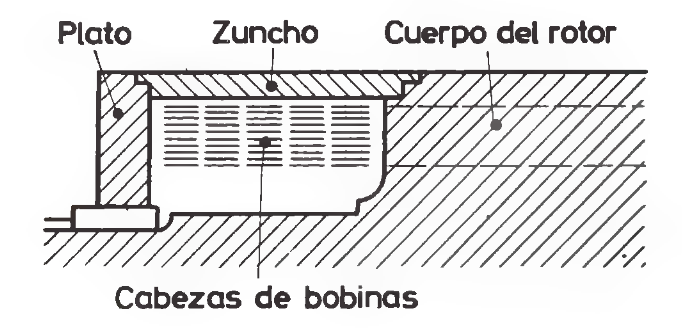
Sabemos que el campo magnético que crea en el inductor la corriente de excitación es teóricamente constante. Pero no por ello pueden excluirse la posibilidad de que dicho campo pueda, en determinadas circunstancias, fluctuar por encima y por debajo de su valor nominal. Pues bien; para disminuir las pérdidas debidas a las corrientes inducidas por dichas fluctuaciones en la superficie del rotor, se practican ranuras circulares de 1 mm de ancho y 2 mm de profundidad escuadradas axialmente y con una separación de 3 a 8 mm.



Las ranuras para el devanado del inductor se practican directamente en el cuerpo del rotor. Se consiguen mediante fresas de gran precisión.

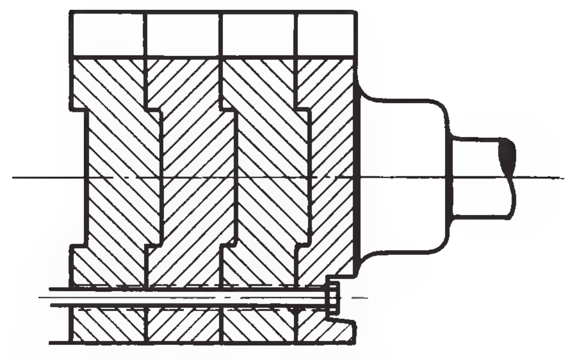


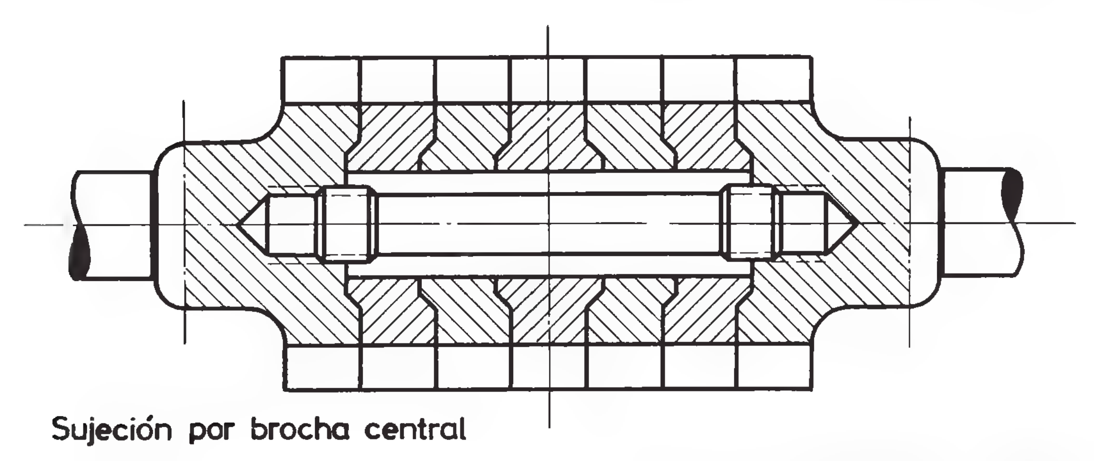
Ranuras de turboalternador mostrando las correspondientes calas de bronce.



Representación esqnemática del montaje de un zuncho de protección para las cabezas de las bobinas Indnctoras.

Las dificultades que ofrece el mecanizado de grandes rotores de una sola pieza han llevado a los fabricantes a idear otras formas constructivas, consistentes en formar el cilindro del rotor por medio de varias piezas circulares encartadas entre sí, fijadas con burlones roscados o bien por una brocha central. Los discos extremos son un ensanchamiento de las cabezas del árbol. El montaje con tornillos, por causa de la gran longitud que algunas veces alcanza el cuerpo del rotor, no siempre es posible.



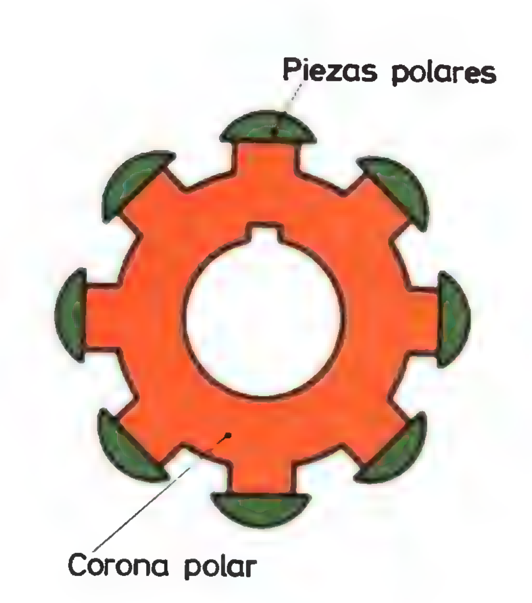


Rotores para turboalternadores formados con discos acoplados. Dos sistemas fundamentales de sujeción.

ROTORES DE POLOS SALIENTES

La parte magnética útil de los rotores de polos salientes está formada por una corona sobre la cual se montan las piezas polares. Se comprende que también en este tipo de inductores las formas constructivas están en función del tamaño y velocidad que deba alcanzar el conjunto rotórico que soporta las bobinas. Tanto es así, que se ha generalizado la costumbre de considerar la velocidad periférica del rotor como criterio de su comportamiento mecánico.

Sin embargo, la velocidad periférica no es un dato suficientemente definitivo. De dos piezas de igual masa e igual velocidad tangencial, la que se ve sometida a una mayor fuerza centrífuga es la que está más cerca del eje de rotación. Esto nos indica, en el caso que nos ocupa, que, para una velocidad tangencial dada, la fijación de los polos a la corona debe ser tanto más segura cuanto menor sea el diámetro y, por tanto, mayor la velocidad angular.



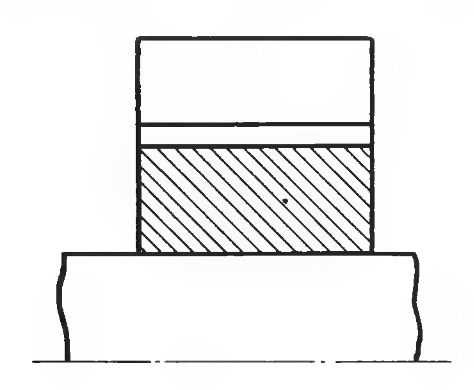
Esta velocidad angular, en definitiva, está dada por el número de polos: a menor número de polos, mayor velocidad angular (menor diámetro en consecuencia), y viceversa.

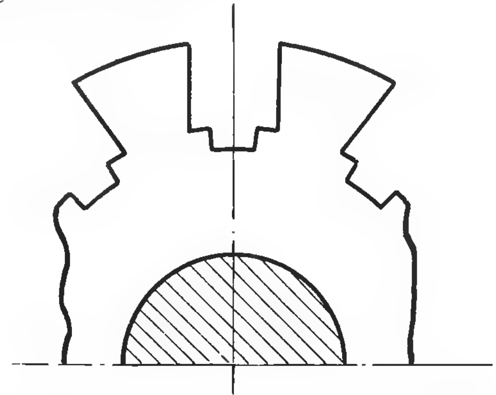
Vamos a examinar la construcción de rotor en función del número creciente de polos, considerando la velocidad de embalamiento posible en cada caso, para pasar seguidamente al estudio de las piezas polares, su montaje sobre la corona y el montaje del devanado sobre los polos.

CUERPOS DE ROTOR

Para rotores de 4 a 8 polos

El diámetro del rotor será pequeño; por la gran velocidad angular que deben alcanzar las masas polares, es el mismo eje el que se constituye en corona polar mediante un proceso de mecanizado con máquinas fresadoras de alta precisión y gran tamaño.





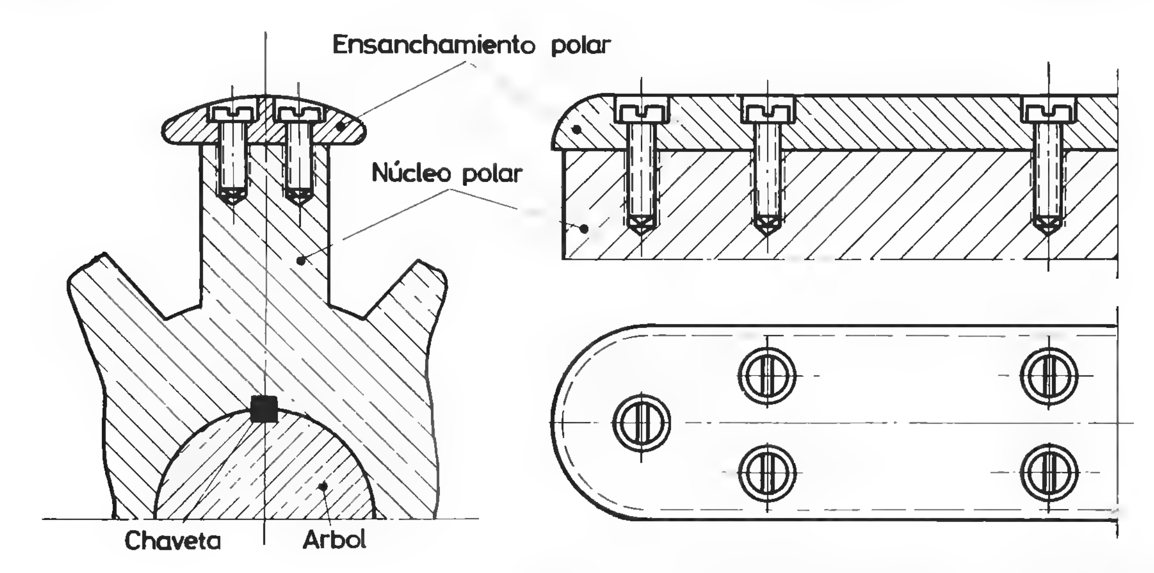
Corona polar para alternador pequeño. Las masas polares se han fresado en el mismo árbol.

Para rotores de 8 a 14 polos

Para diámetros mayores y número de polos comprendido entre 8 y 14, la cara del circuito magnético es una pieza independiente que se fija sobre el árbol, al que se une directamente. En estos casos pueden distinguirse varios tipos de construcción:

a) La corona y los núcleos polares forman una sola pieza; sólo los ensanchamientos polares son piezas independientes atornilladas sobre las primeras.

b) Corona maciza en forma de cilindro montada sobre el árbol; las piezas polares se fijan

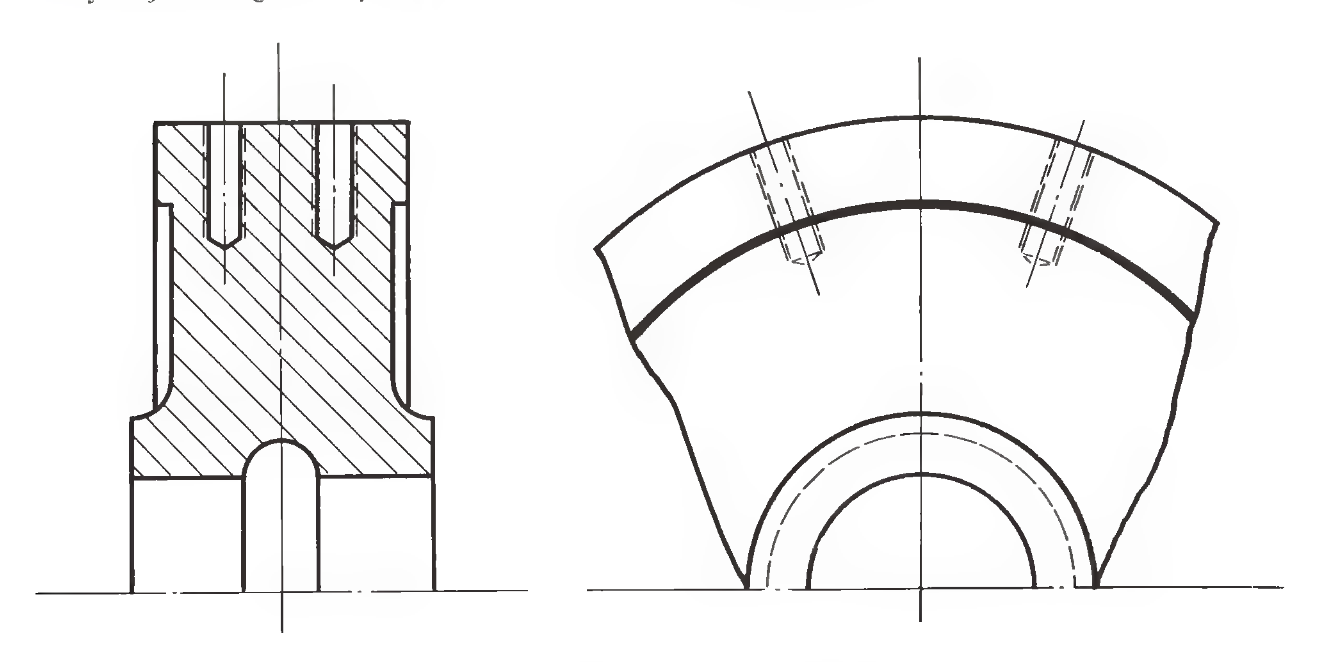


Corona y núcleos polares de una sola pieza, sujeta al árbol mediante chavetas. Los ensanchamientos polares son piezas atornilladas sobre los núcleos.

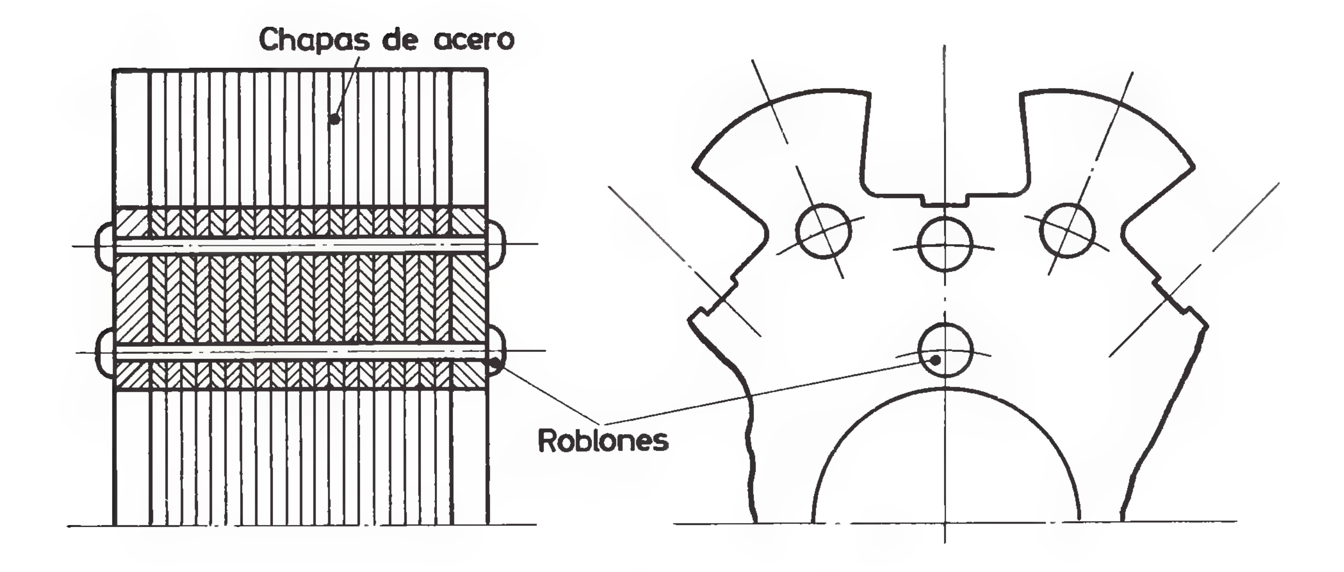
sobre la corona por medio de tornillos. Esta forma constructiva es poco frecuente por causa de la excesiva longitud que deben tener los tornillos. Fíjese en que deben atravesar las masas polares.

c) La corona puede estar formada por un empilado de chapas de acero de 20 a 40 milímetros de espesor. Se fijan por remaches, como muestra la figura. Esta solución, que cada día es más corriente, suprime las dificultades derivadas del moldeo y forjado de grandes piezas.

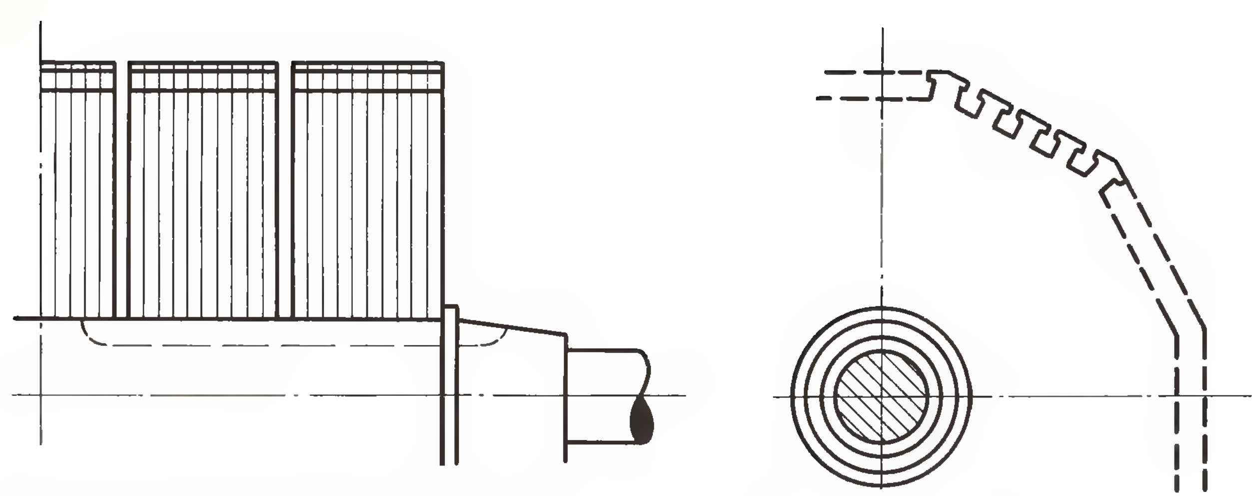
d) La corona de las máquinas que deben soportar grandes velocidades de embalamiento se forma con discos forjados y entrados en caliente sobre el árbol. Estos discos tienen de 300 a 400 mm de grueso. La superficie exterior se mecaniza formando grupos de ranuras múltiples destinadas a la sujeción de los polos, los que llevan sus correspondientes nervaduras, que encajan perfectamente con las que se hayan mecanizado sobre la corona.



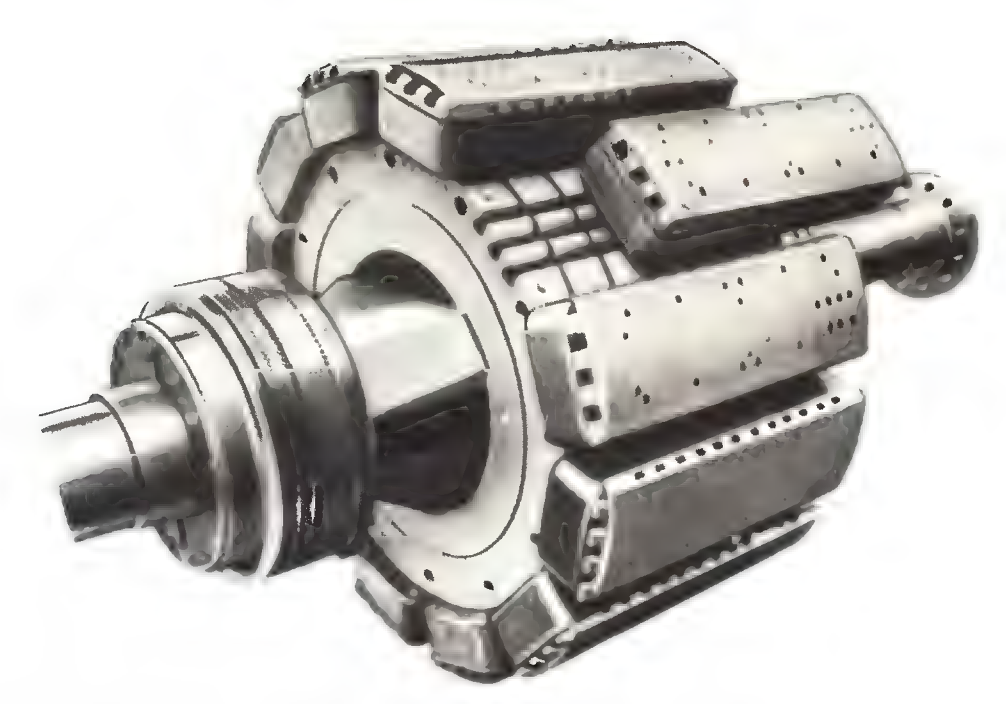
Corona maciza para máquina de poca potencia. Las piezas polares se fijan por tornillos a los taladros preparados al efecto.



Rotor formado por planchas de acero troqueladas y remachadas.

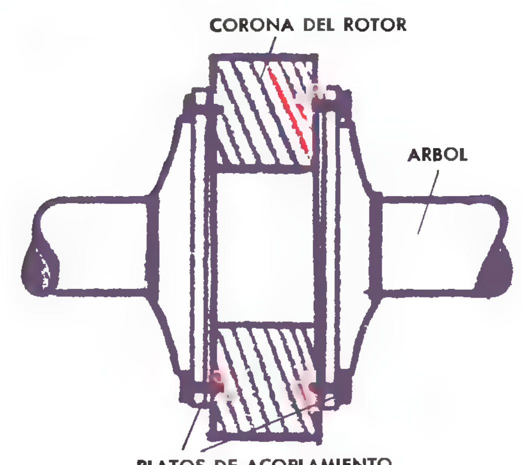


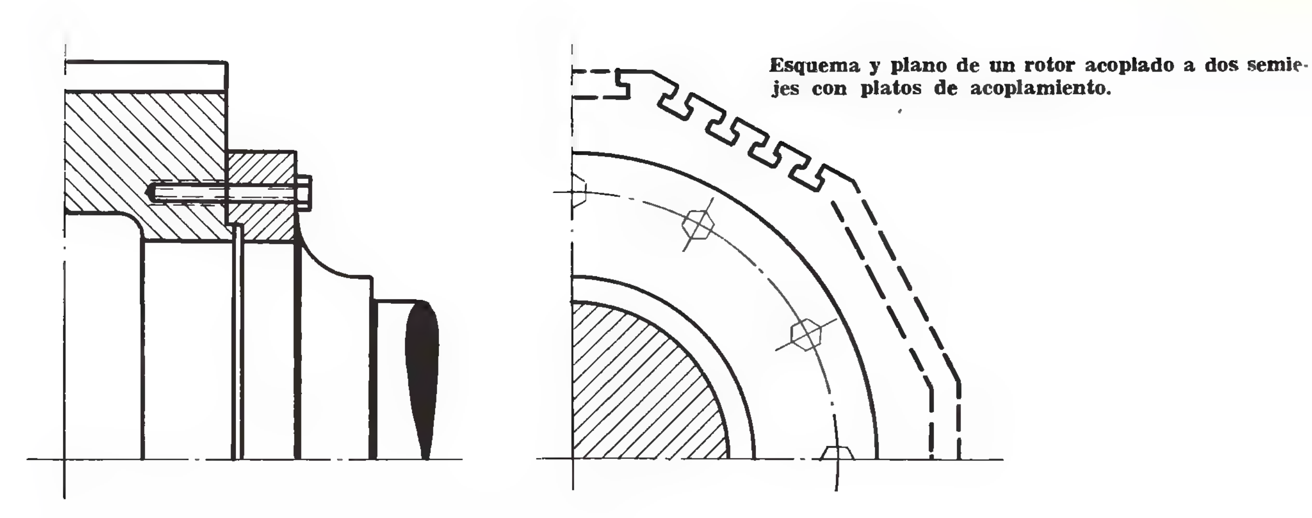
Rotor de discos forjados con entalles para el ajuste y sujeción de los polos.



En máquinas de gran potencia, y para un número de polos comprendido entre 10 y 16, en vez de montar el rotor con grandes anillos forjados y entrados en caliente se prescribe otra solución: la corona del rotor se fabrica en forma de corona circular con gran diámetro interior, corona que se monta sobre un plato mecanizado en el árbol. Es decir; el árbol no es continuo, sino que está formado por dos semiárboles con sendos acoplamientos de plato.

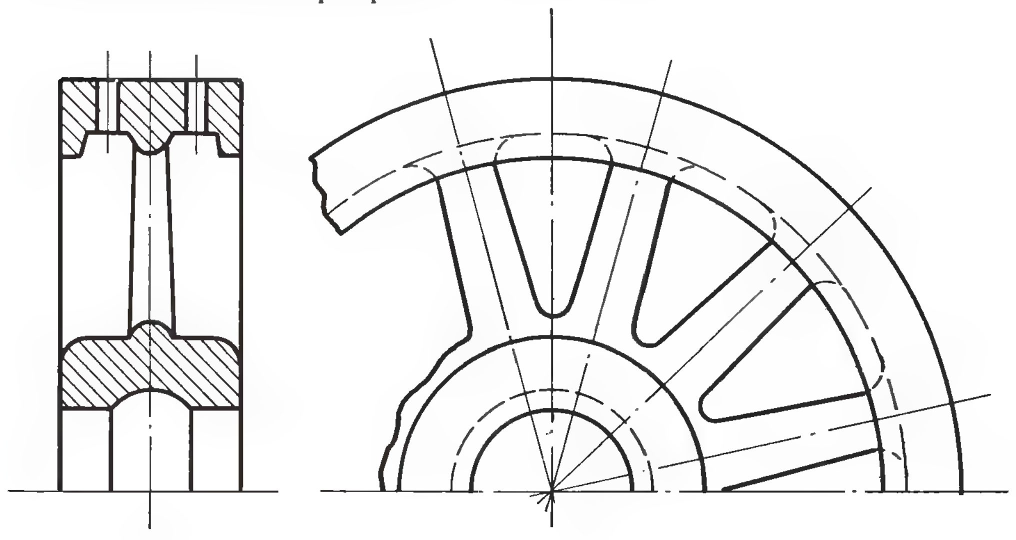
Perseverando en la idea de disminuir el peso de las piezas forjadas que constituyen los soportes de las piezas polares del rotor, es lógico que en grandes alternadores se sustituya la corona forjada por un volante, el cual, como todos, está formado por un cubo y una llanta unidos por un número suficiente de brazos.



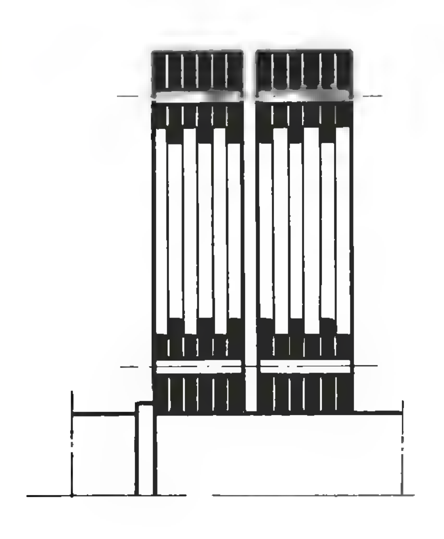


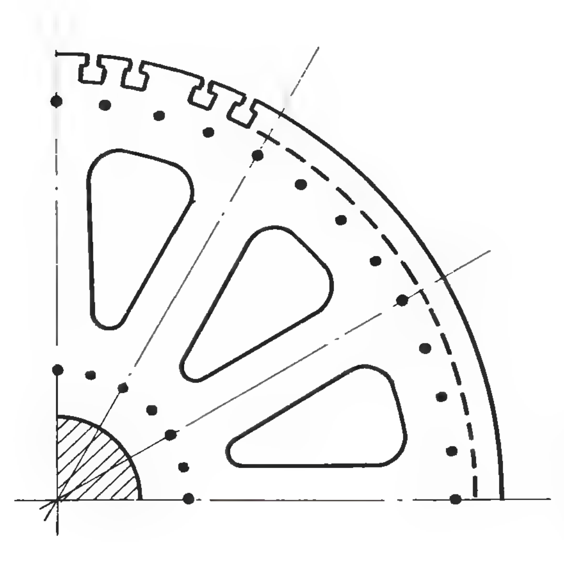
Esquema y plano de un rotor acoplado a dos semiejes con platos de acoplamiento.

Estos volantes, según el número de polos y la velocidad de embalamiento prevista, serán de fundición o construidos por piezas.

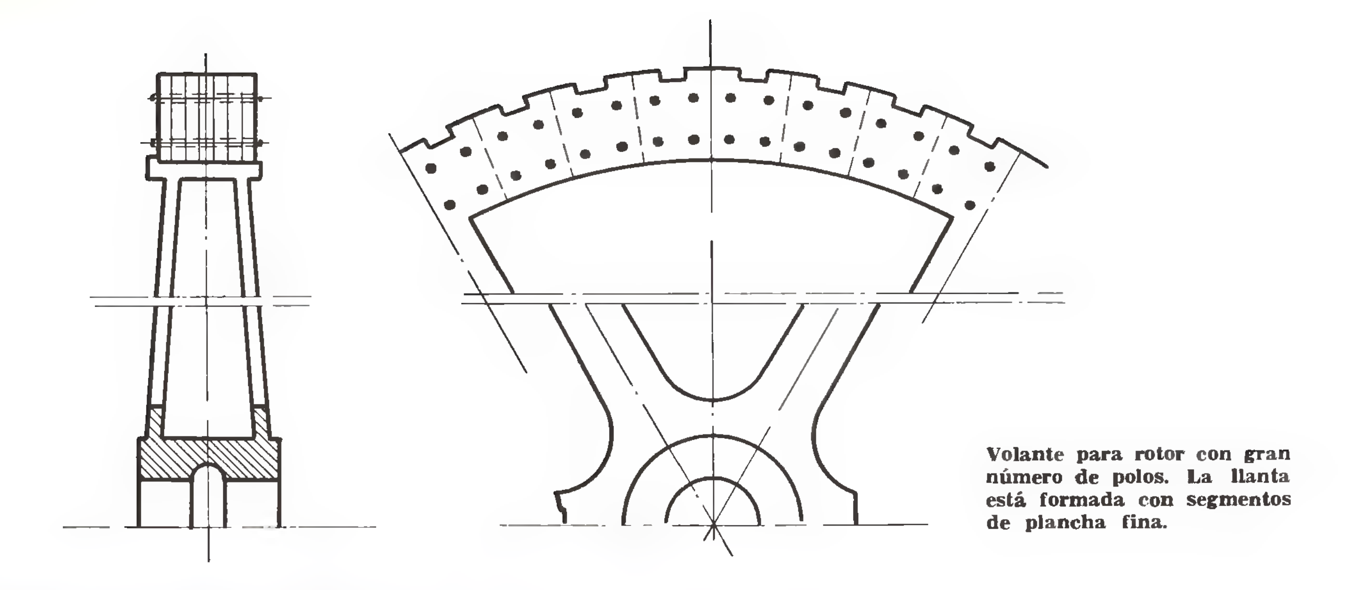


Volante para rotor moldeado de una sola pieza.

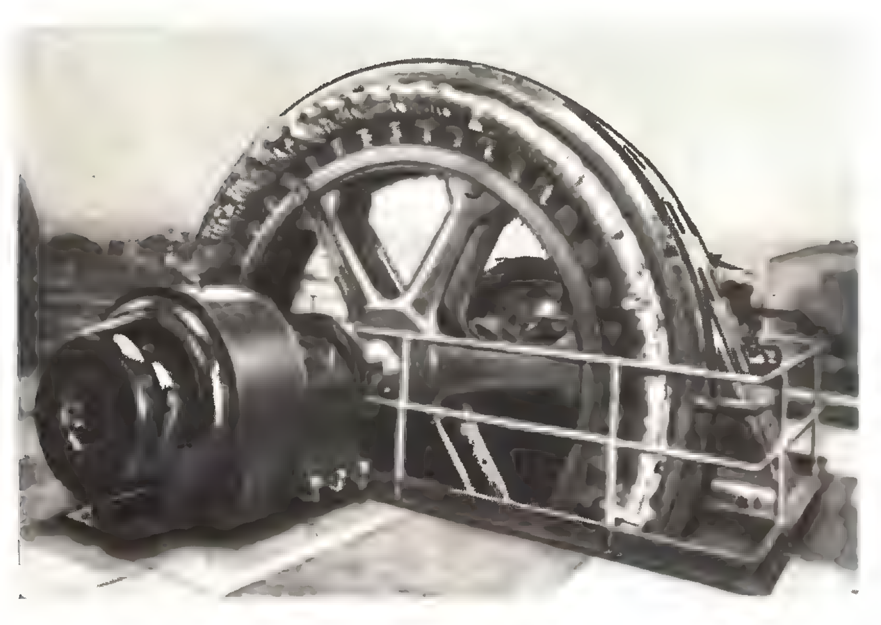




Volante para rotor con gran número de polos. Está formado por un empilado de planchas convenientemente taladradas.



Volante para rotor con gran número de polos. La llanta está formada con segmentos de plancha fina.



Alternador de eje horizontal cuyos polos están montados sobre un volante de gran tamaño.

En el caso de máquinas con gran número de polos y sometidas a velocidades de embalamiento —caso de grandes alternadores accionados por turbinas hidráulicas—, la llanta del volante se forma con segmentos de plancha fina (2 a 6 mm de espesor) montados sobre una cruceta que puede construirse en varias piezas.

El hecho de que estos volantes puedan montarse por piezas acopladas facilita su transporte, cosa muy importante cuando se trata de máquinas cuyo peso es de cientos de toneladas.

Los segmentos de la llanta, cortados en prensa, se montan sobre la cruceta a juntas cruzadas y están fuertemente apretados con numerosos tornillos. Se comprende que su mecanizado debe ser muy preciso.

PIEZAS POLARES

Constitución de las piezas polares

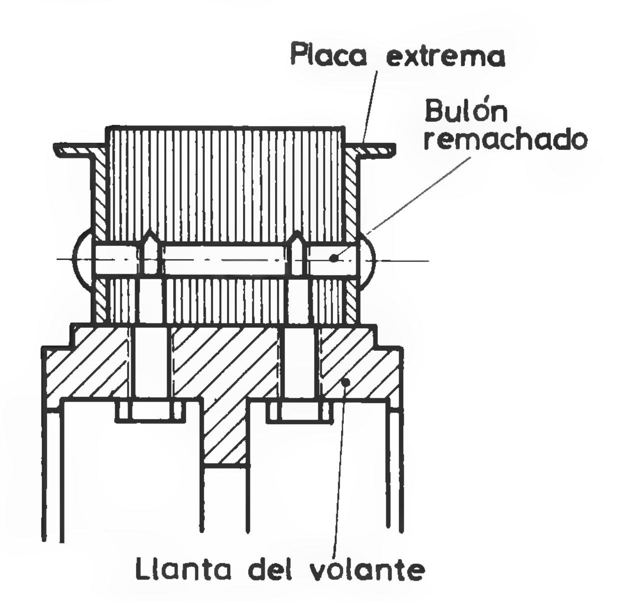
Las piezas polares alrededor de las cuales quedan enrolladas las bobinas inductoras pueden ser macizas o estar formadas por un empilado de chapa (de 1 a 3 mm de espesor) sin barnizar, cortadas en prensa y montadas entre dos placas más gruesas que cierran y presionan el empilado. El ensamblado se asegura con remaches o con una chaveta grande de sección cuadrada o circular, re-

machada sobre las placas de extremidad; también puede solucionarse con tornillos. Este ensamblado debe producir una presión del orden de 25 kg/cm².

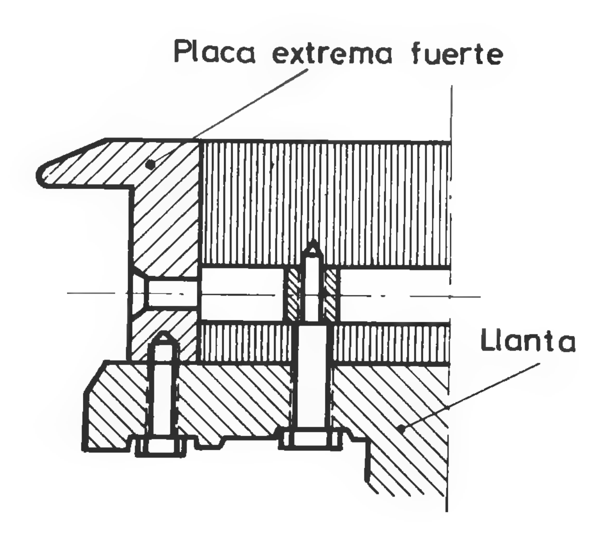
La importancia de las placas de extremidad depende del valor de la fuerza centrífuga actuante sobre los polos; sobre la bobina inductora, concretamente, ya que éste es el elemento que deben soportar las masas polares.

Para pequeñas velocidades, estas placas extremas son simples planchas de hierro de 5 a 10 mm de espesor, que en el caso de mayores fuerzas centrífugas toman forma de perfil en ángulo recto.

Con el aumento de la fuerza centrífuga las placas de extremidad son cada vez más gruesas, y tienen pronunciados picos capaces de sostener las bobinas inductoras en toda su parte frontal.



Pieza polar de chapa, con placas extremas dobladas en ángulo recto.



Pieza polar para alta velocidad. Observe la reciedumbre de la pieza extrema.

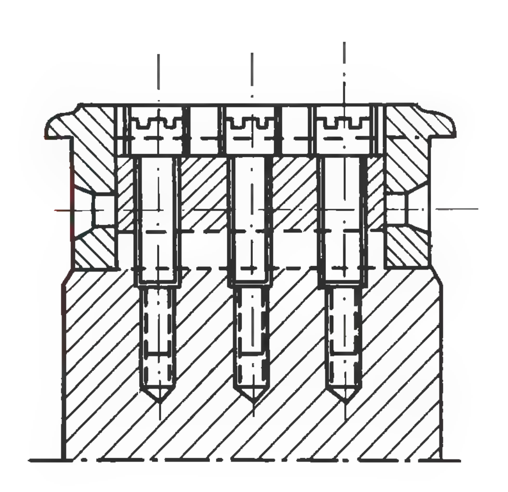
MONTAJE DE LAS PIEZAS POLARES

Cuando se trata de rotores con volante, los polos se fijan a la llanta por medio de tornillo entrados desde la cara interna de la llanta. Las dos figuras anteriores muestran montajes de este tipo.

Pero si el rotor está formado por un tambor macizo, los polos sólo pueden fijarse por el exterior mediante tornillos muy largos. Estos rotores no pueden soportar grandes velocidades, ya que, normalmente, falta espacio donde colocar un número suficiente de tornillos.

Por tal motivo, se prefiere a esta solución otra en la cual los núcleos polares forman cuerpo con la corona del rotor; en estos casos sólo deben fijarse los ensanchamientos polares, que por su escaso grueso permitan el empleo de tornillos con absoluta seguridad.

En muchos tipos de rotores las masas polares se fijan a la corona por un sistema de llaves rec-

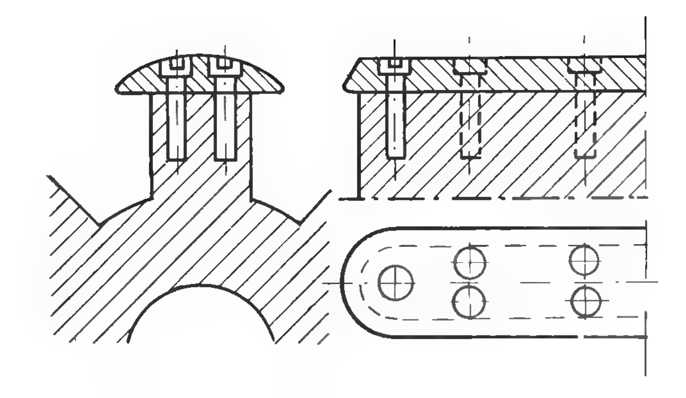


Fijación de un polo sobre un tambor macizo. Solución sólo apta para pequeñas velocidades.

tangulares o de las llamadas cola de milano. Este sistema de fijacion ofrece, ante los esfuerzos mecánicos, mayores secciones de ataque que las fijaciones obtenidas con tornillos o turriones. Por tanto, se comprende que con estas uniones puedan admitirse velocidades mucho más elevadas.

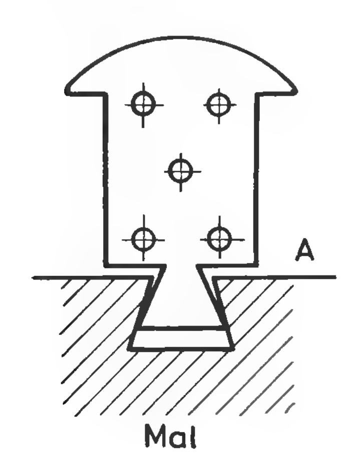
El montaje por llave rectangular o por cola de milano exige una fijación sin juego. Para evitarlo se colocan unas calas, formadas por dos cuñas en oposición, entre la llave del polo y una de las paredes de la ranura practicada en el cuerpo del rotor.

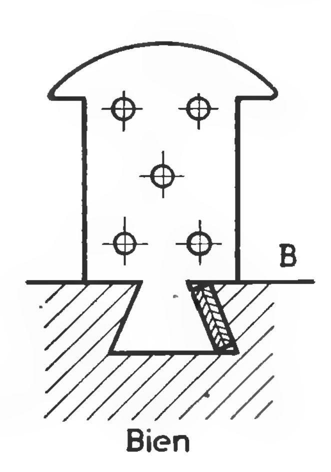
Cuando por motivos de espacio el polo sólo puede fijarse con un solo encaje, se prescribe la forma de cola de milano, que se comporta mejor que la llave rectangular frente a la accion de las fuerzas tangenciales. En cambio, cuando la fijación puede hacerse con múltiples ranuras, es mejor utilizar llaves rectangulares, que permiten una mejor repartición de las cargas entre las distintas ranuras de la fijación.

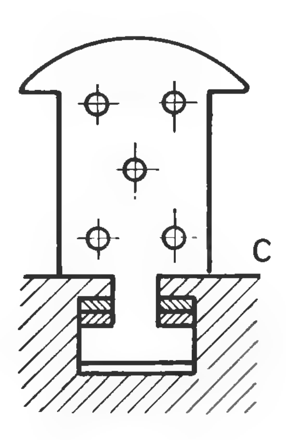


Nucleo polar formando pieza con la corona del rotor. El polo se completa con un ensanchamiento polar sujeto con tornillos.

Montaje de un polo con sujecion por cola de milano (figuras A y B) y montaje con llave rectangular (figura C).







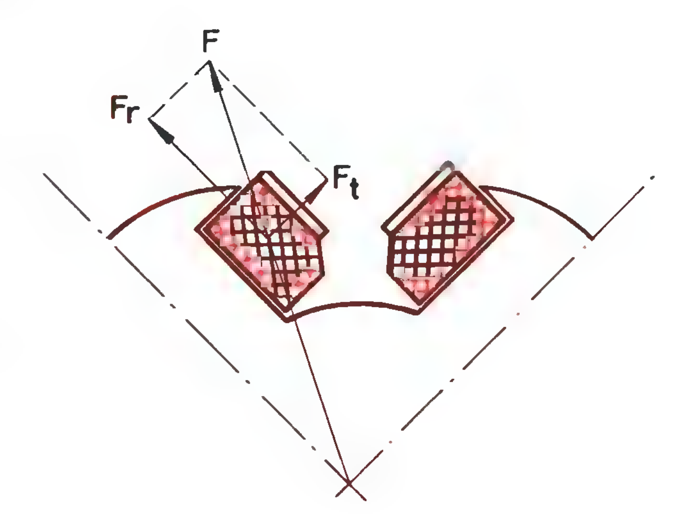
MONTAJE DE LOS ARROLLAMIENTOS

Sabemos que las piezas polares son el núcleo de las bobinas inductoras. Mecánicamente, son el apoyo de dichas bobinas.

Lo más importante, desde un punto de vista mecánico, es que las bobinas del inductor (rotor), una vez montadas, queden aseguradas contra la acción de la fuerza centrífuga.

Consideremos una pieza polar rodeada de su correspondiente bobina inductora. La fuerza centrífuga F, actuante sobre una sección axial de la bobina, puede descomponerse en una fuerza F_r, paralela al eje del polo, y en una fuerza F_t, perpendicular a dicho eje.

Observe que la fuerza F_r, queda equilibrada por el ensanchamiento polar; pero no así la fuerza F_t,

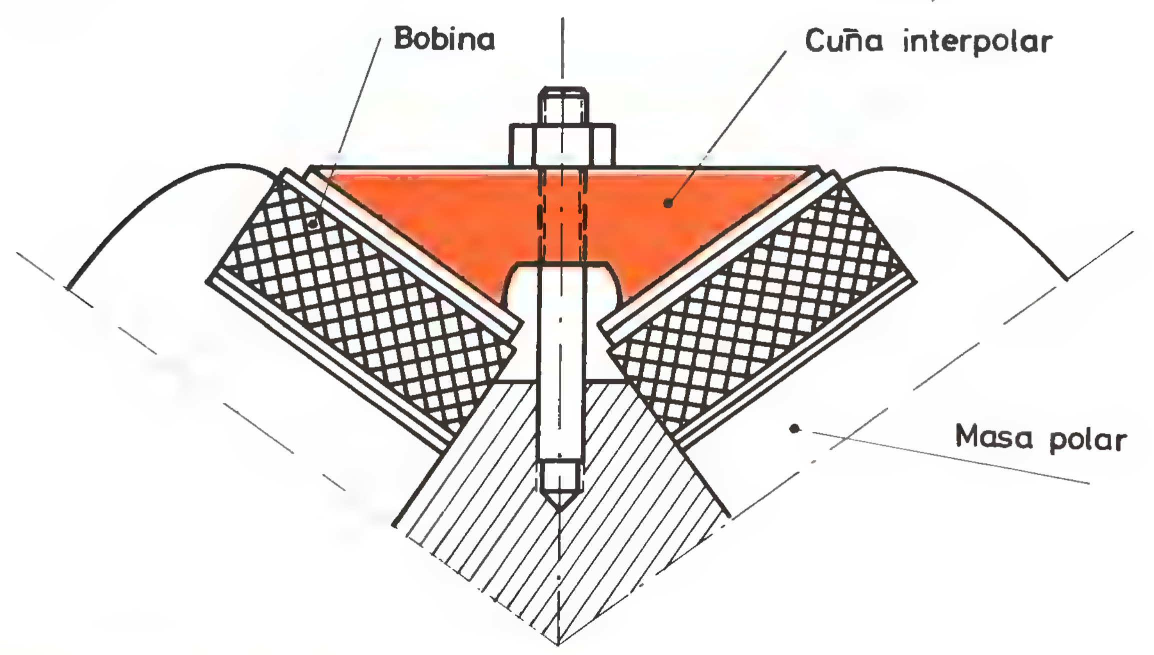


que tan sólo está contrarrestada por la resistencia mecánica de la misma bobina.

Cundo F_t es pequeña, la bobina soporta sin peligro la acción de esta fuerza; pero si es grande (lo que ocurre en las máquinas de poco número de polos) deben añadirse al conjunto rotor unas calas interpolares que eviten la deformación transversal de las bobinas.

Estas calas o cuñas interpolares se construyen preferentemente con aleaciones de aluminio y siempre con materiales no magnéticos. Su forma depende muy directamente del tipo de máquina al que deben servir.

Cuñas interpolares para rotores de seis y cuatro polos, respectivamente.



REALIZACIONES DE LOS ARROLLAMIENTOS

Sin duda no le habrá pasado inadvertido que en esta lección estamos dando prioridad a las cuestiones constructivas, en contra de lo que hemos venido haciendo, o sea: empezar por los temas técnicos.

Un alternador es una máquina demasiado complicada para enfocar las cuestiones referentes a su cálculo sin tener una idea, por lo menos aproximada, de su estructura real; ésta es nuestra opinión y por ello estamos preocupándonos, de hacerle ver la estructura de un alternador. En el camino emprendido, hemos llegado a una fase decisiva: los devanados. En definitiva son ellos los que accionan la máquina.

TIPOS FUNDAMENTALES DE DEVANADOS PARA ESTATORES

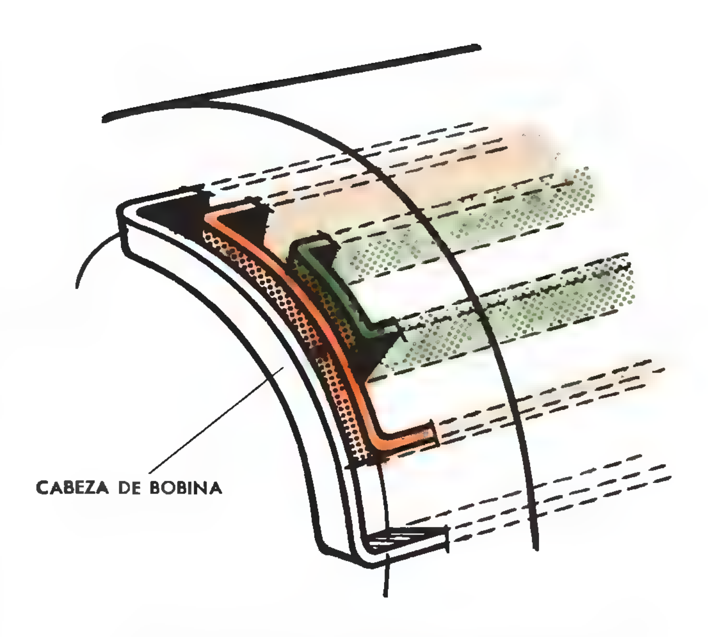
¿Cómo son los devanados del inducido de un alternador? Usted, que conoce la dínamo, no puede tener ninguna dificultad en entender los devanados del alternador, aunque la verdad es que no

resulta demasiado fácil explicarlo sin tener la seguridad de que el lector tendrá la suficiente imaginación para saber interpretar los gráficos explicativos y representativos que son la base fundamental de este tema. Ponga por su parte el máximo interés.

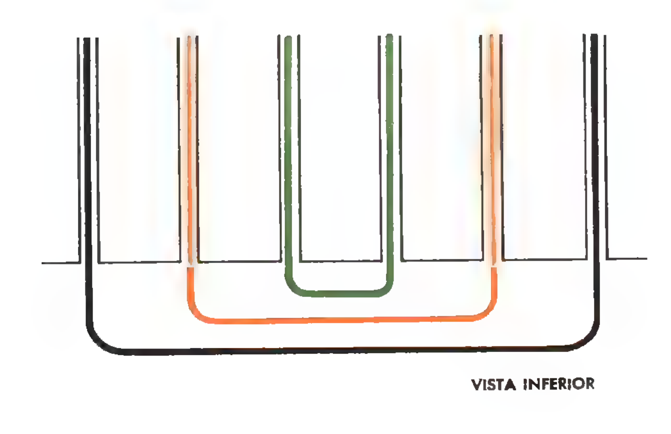
Cada ranura de la máquina puede contener varios conductores que, una vez unidos por conexiones frontales, constituyen el arrollamiento deseado. Los conductores de una misma ranura pueden estar atravesados por una misma corriente, perteneciente a una fase determinada, o por corrientes distintas pertenecientes a fases diferentes.

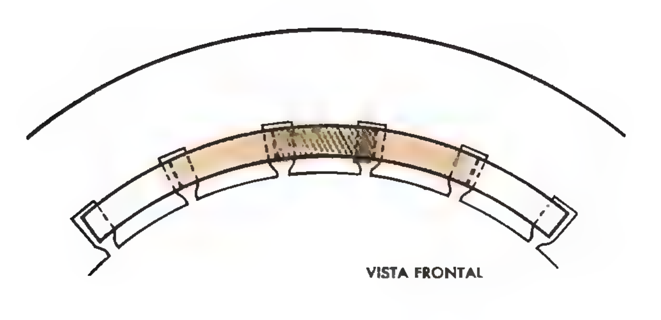
De acuerdo con estas realidades, podemos considerar dos casos de arrollamiento:

a) Todos los conductores de una ranura pueden seguir caminos paralelos a los planos extremos de la máquina. En este caso hablaremos de un ARROLLAMIENTO DE UNA SOLA CAPA. En los gráficos que siguen intentamos mostrar la forma que adoptan estos arrollamientos.

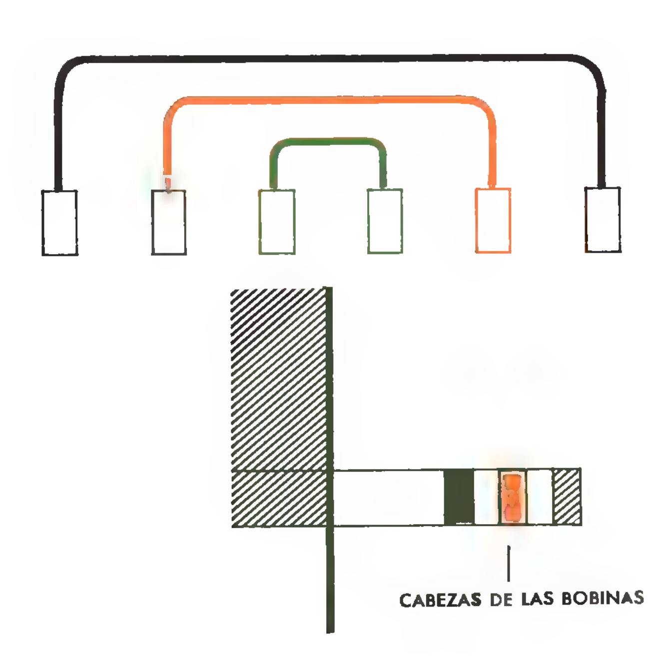


Fragmento de arrollamiento a una sola carga. Bobinas concéntricas con sus cabezas situadas en una sola superficie curvada.



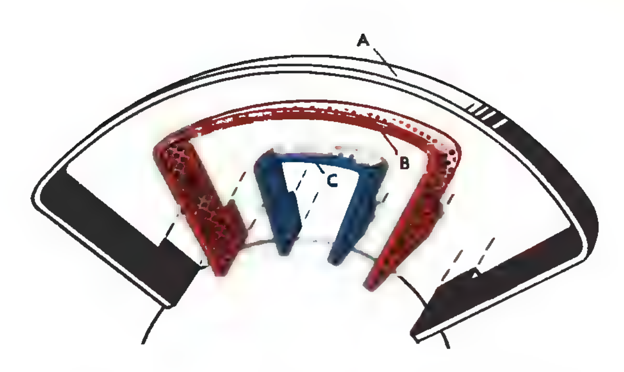


Este es el mismo arrollamiento anterior, representado segun una vista frontal y otra vista inferior (según la dirección de la flecha).

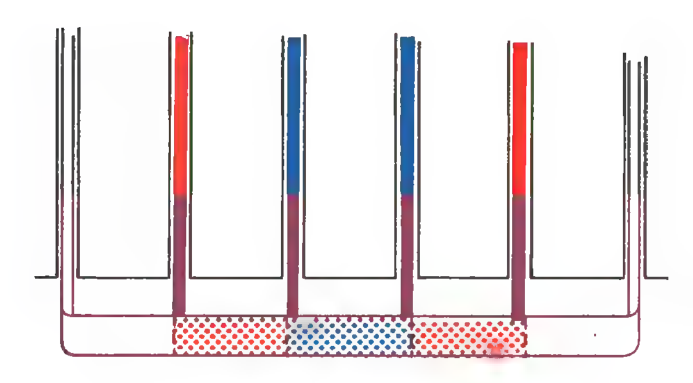


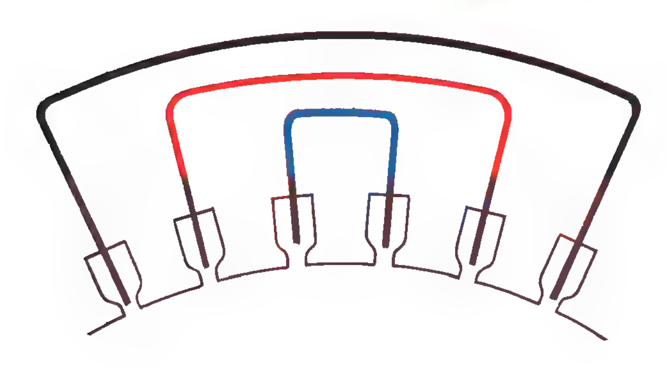
Por último, ésta sería la representación simbólica del arrollamiento de que venimos hablando.

Hemos visto un arrollamiento de una sola capa, las cabezas de cuyas bobinas están dispuestas de modo que sus aristas superiores e inferiores están en una misma superficie curva. Veamos ahora el mismo arrollamiento, pero con las cabezas de las bobinas en un plano vertical.

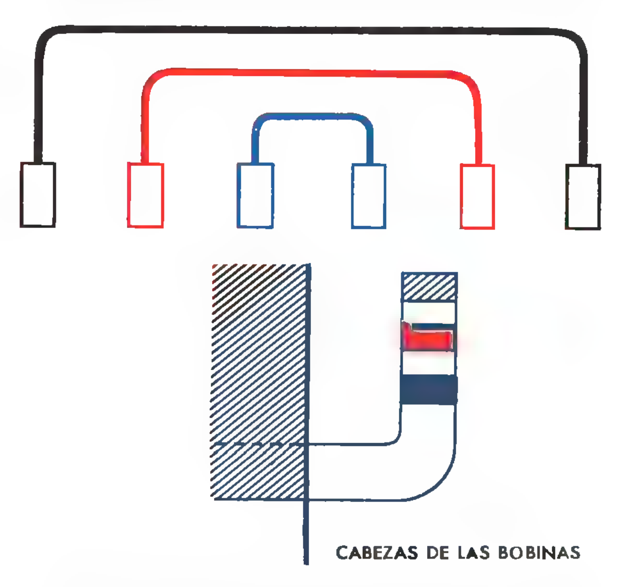


Fragmento de un arrollamiento a una sola capa (es el mismo que hemos visto) con las cabezas de las bobinas situadas de forma que las aristas A, B y C estén en un mismo plano vertical.





He aquí el arrollamiento que nos ocupa representado según dos vistas ortogonales.

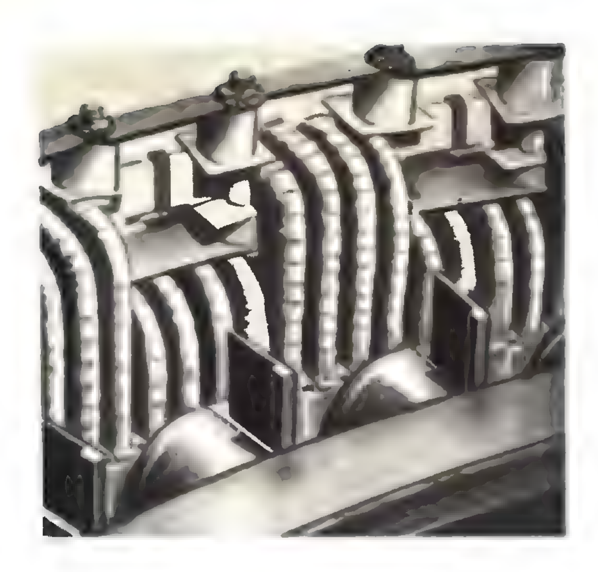


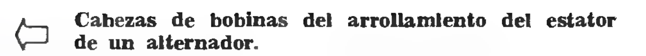
Finalmente, vea la representación simbólica del arrollamiento. Observe que la única diferencia con el anterior está en la representación de las cabezas de las bobinas. Aquí se indica su superposición según un plano vertical.

b) La mitad de los conductores de cada ranura siguen un camino y la otra mitad otro camino distinto. En este caso hablaremos de un arrollamiento de dos capas.

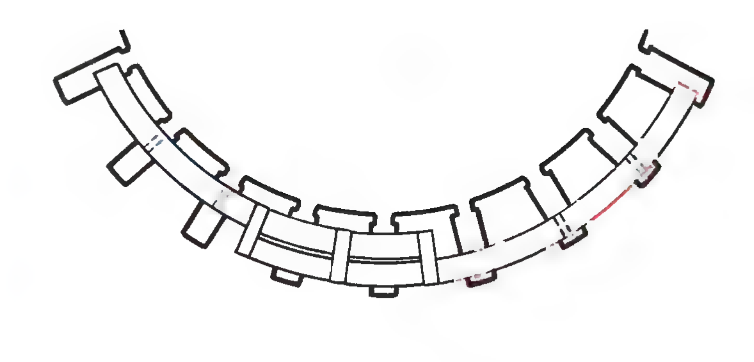


Bobinas ejecutadas sobre molde para un estator con arrollamiento a doble capa.





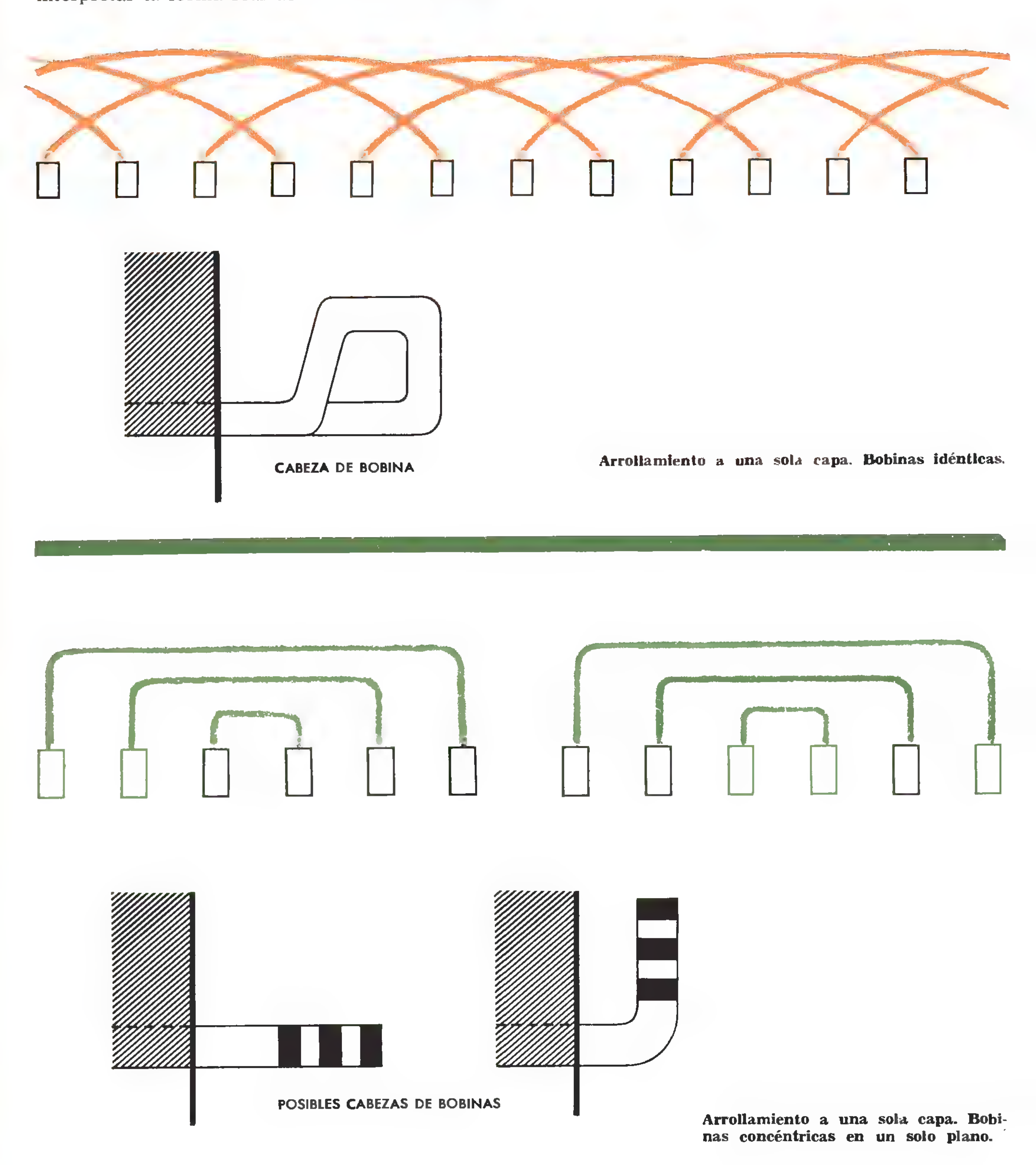
Cabezas de bobinas del arrollamiento del estator de un alternador.



Arrollamiento a dos capas.

Representación simbólica de un devanado a dos capas.

Veamos, para finalizar esta visión de conjunto de los arrollamientos estatóricos, la representación simbólica de los devanados más utilizados. Creemos que con lo que llevamos dicho podrá interpretar la forma real de estos arrollamientos.



Arrollamiento a una sola capa. Bobinas idénticas.

Arrollamiento a una sola capa. Bobinas concéntricas en un solo plano.

POSIBLES CABEZAS DE BOBINAS

Arrollamiento a una capa. Bobinas concéntricas con cabezas de bobinas en dos planos.

POSIBLES CABEZAS DE BOBINAS

Arrollamiento a una capa. Bobinas concéntricas con cabezas de bobinas en dos planos.

CABEZAS DE LAS BOBINAS

Arrollamiento en dos capas.

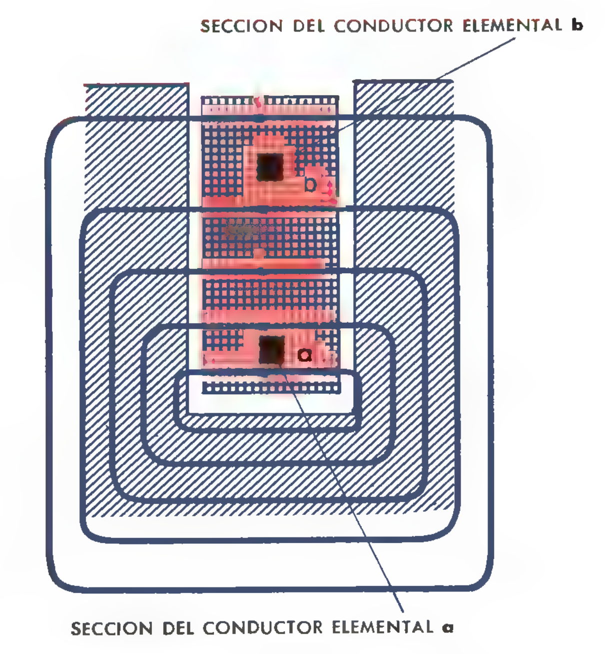
CONDUCTORES SUBDIVIDIDOS DE SUBDIVISIONES TRANSPUESTAS

Si consideramos un conductor macizo situado en una ranura, es evidente que cuando este conductor sea atravesado por una corriente se creará un campo magnético a su alrededor. Pero sucede que las líneas de fuerza de este campo se disponen de tal manera que, si en el conductor consideramos la unidad de superficie a distintos niveles dentro de la ranura (estas secciones representan un conductor elemental), el conductor elemental situado más hacia el exterior de la ranura se halla menos afectado por el campo magnético.

De ello resulta que el conductor *a* elemental, tiene mayor reactancia que el conductor elemental *b* de la figura; y en consecuencia la densidad de corriente será superior en *b* que en *a* ante las corrientes alternas.

Podemos afirmar, pues, que para las corrientes alternas la densidad aumenta desde el fondo de la ranura hacia el exterior.

Este fenómeno, que tiene muy poca importancia cuando los conductores son de reducida sección, resulta nocivo en estatores de grandes máquinas que exigen conductores de gran sección. Si estos conductores fuesen macizos, la diferente densidad de corriente a diversos niveles llevaría a una distribución muy desigual de las corrientes inducidas, lo cual repercutiría en pérdidas por calor inadmisibles.



Campo magnético de un conductor macizo situado en una ranura.

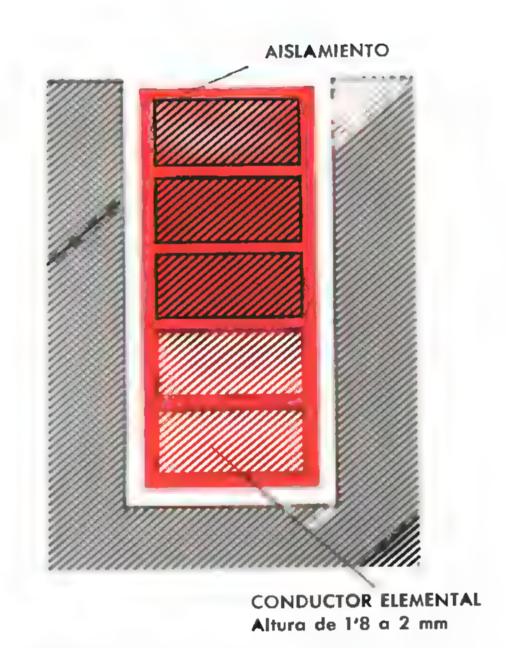
Para evitar los efectos del fenómeno descrito se utilizan barras conductoras de fabricación especial (amparadas por patentes), entre las que deben citarse las barras llamadas Punga y Roebell.

BARRA PUNGA

La barra Punga está formada por una serie de conductores de sección rectangular. Esta barra se coloca en la ranura de manera que la dimensión menor de cada sección esté en el sentido de la altura.

Los conductores elementales de la barra quedan aislados entre sí durante todo el recorrido de la ranura en que se ubican. Pero lo que distingue estas barras es que cada conductor, a lo largo de la ranura, ocupa todas las posiciones posibles en el sentido de la altura, con lo cual la impedancia en cada sección, y con ella la densidad de corriente, se hacen uniformes.

Esta uniformidad se consigue con el paso brusco del conductor que ocupa la posición más alta de la ranura a la posición más baja de la misma. Si la barra está formada por *n* conductores elementales, hay n-1 posiciones equidistantes sobre la longitud axial de la ranura. La barra entera se encinta o se coloca en el interior de un canuto aislante.



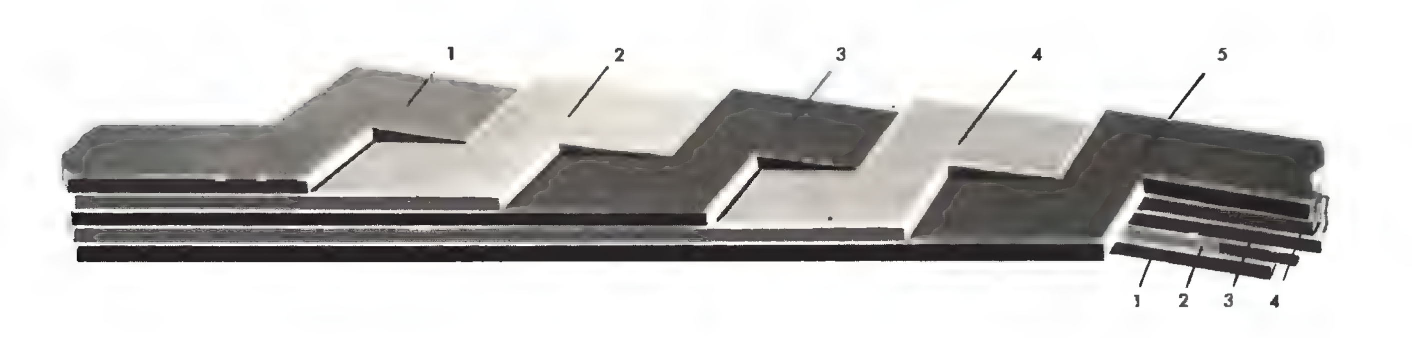
Disposición de una barra Punga en el interior de la ranura.

BARRA ROEBELL

El empleo de la barra Roebell es la solución más comúnmente utilizada para igualar la distribución de una corriente variable a través de la sección de un conductor de grandes dimensiones. Esta barra está formada por elementos de igual altura que la barra Punga (1'8 a 2 mm), pero de ancho igual a la mitad.

Los conductores elementales presentan dos columnas según el ancho de la ranura. Es decir: la sección de estas barras presenta dos columnas de conductores elementales. Estos conductores forman por un lado un haz ascendente y por el otro un haz descendente; pero no sólo eso, sino que cada vez que un conductor alcanza la posición más alta o más baja en la ranura pasa de una a otra fila. Este trueque de posiciones sólo se da en el interior de la ranura; no fuera de ella.

Los conductores elementales, como es lógico, están aislados entre sí; y el conjunto de la barra se encinta o enfunda con un canuto de material dieléctrico que constituye la envolvente general aislante.



Estructura que adopta un juego de cinco conductores básicos en una barra Roebell.

AISLAMIENTO DE LOS ARROLLAMIENTOS

El sistema aislante de una máquina comprende, en general, tres factores: el aislamiento de los conductores unitarios, el de las espiras y el de las masas.

En todos los casos, el tipo de material aislante está determinado por la temperatura que alcanza la máquina a la potencia nominal.

Los aislantes deben ser capaces de soportar no sólo las tensiones permanentes debidas al propio funcionamiento de la máquina, sino también las subtensiones accidentales de corta duración debidas, por ejemplo, a las sobrecargas que produce el cierre o apertura del circuito de la máquina.

Otra cuestión a considerar, a la hora de elegir los aislantes de una máquina eléctrica, son los esfuerzos de orden mecánico a que se verán sometidos, debidos, por un lado, al movimiento de rotación del inductor y por otro a las dilataciones de los distintos órganos.

AISLAMIENTO DE LOS CONDUCTORES UNITARIOS

Los conductores que forman los devanados de la máquina deben estar aislados unos de otros, cosa que puede conseguirse siguiendo técnicas distintas, según aconseje la importancia del aislamiento y la mayor o menor, sección del conductor.

Para conductores de poca sección (hasta 30 ó 40 mm²) se prescriben aislamientos de fibras textiles (una o varias capas), papel o esmalte. El algodón, la seda, el nylon o el rayón son las fibras más empleadas. Como fibras minerales de alto poder dieléctrico debemos citar la fibra de vidrio (silicona) y el amianto.

Los recubrimientos fibrosos de papel son poco utilizados en máquinas giratorias. El papel puede considerarse un dieléctrico; pero los recubrimientos de que hablamos actúan de simples separadores, de forma que sus cualidades dieléctricas son tan sólo las debidas al fluido que rellena los intersticios, fluido que generalmente es aire. Excepto si se toman precauciones muy especiales, raramente se puede contar con que un barniz de impregnación forme una película continua.

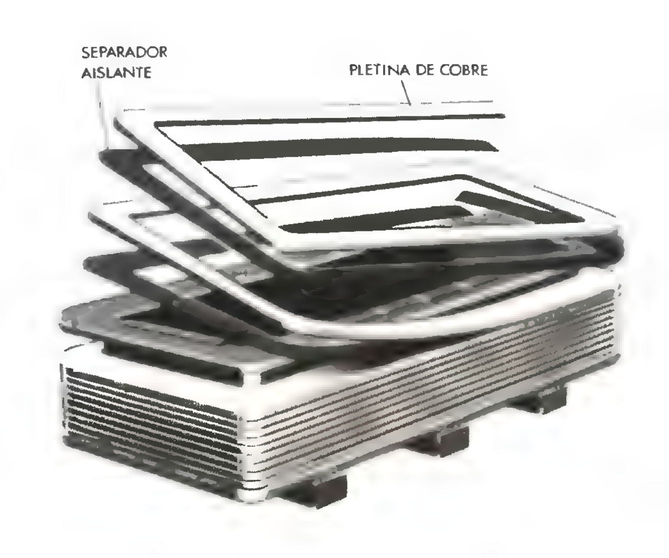
Actualmente se obtienen esmaltes de extraordinarias cualidades aislantes y mecánicas (gran resistencia a los esfuerzos de flexión, por ejemplo), lo que ha hecho retroceder extraordinariamente el empleo de cubiertas aislantes de tipo textil o mineral. El progreso técnico experimentado en la fabricación de barnices aislantes incluso ha hecho desaparecer las cubiertas de algodón con que antes se protegían los hilos esmaltados.

Hoy en día, lo que eran hilos con cubiertas textiles son casi exclusivamente hilos esmaltados, o esmaltados y recubiertos con fibras a la silicona. Su elasticidad y poder dieléctrico así lo permite.

SEPARADORES

En algunos casos especiales sólo es necesario colocar separadores no continuos entre los conductores; separadores que se fijan cuidadosamente y que sólo pueden ser utilizados cuando no son de temer sobretensiones, ni aun de poca duración, ya que estos separadores serían fácilmente contorneados por el arco. Este aislamiento se emplea tan sólo para la separación de barras Punga o Roebell y en las espiras de bobinas inductoras de pletinas anchas.

En otros casos los separadores son de micanita, amianto aglomerado, fibra estratificada, etc. Los separadores, generalmente, quedan pegados al cable por medio de un barniz.



ENCINTADO

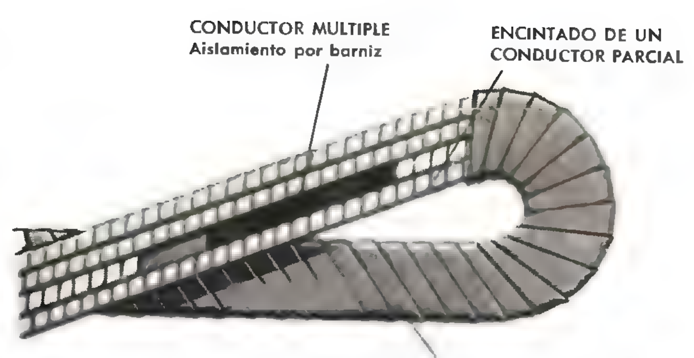
Los conductores de gran sección se aíslan generalmente por encintado, siguiendo la misma técnica que describimos acto seguido para el aislamiento de las espiras.

AISLAMIEMTO DE LAS ESPIRAS

Cuando la tensión que puede aparecer entre espiras es demasiado elevada para confiar en un simple aislamiento por barniz, se encintan todos los conductores, uno a uno, operación que por lo general se realiza a mano.

Las cintas más utilizadas para este menester son:

1. *Cintas no barnizadas* de algodón, silicona o de amianto. Este último debe barnizarse durante el encintado.
2. *Cintas barnizadas* de silicona, algodón o tejidos sintéticos.
3. *Cintas de mica.* Son productos compuestos: seda-mica, papel-mica y silicona-mica. La mica puede sustituirse por hojas de un papel de mica llamado *samica*.
4. *Películas sintéticas* derivadas de sustancias celulósicas.



Técnicamente, las cintas sin barnizar sólo pueden considerarse separadoras. Deben impregnarse para que puedan citarse como dieléctricos, aunque las cintas barnizadas sólo serán buenos aislantes si el barniz, una vez seco, está completamente exento de fisuras.

Las cintas de mica se emplean para máquinas de alta tensión y calentamiento elevado.

Las películas sintéticas van imponiéndose, debido a que, a igual espesor, permiten mayores tensiones. Su colacación, empero, es mucho más delicada que la de otros tipos de cintas.

AISLAMIENTO DE MASAS

Entendemos por aislamiento de masa los aislamientos que tienen por misión establecer un medio dieléctrico entre las partes eléctricamente activas del alternador (y en general de toda máquina eléctrica) y la masa del mismo; o sea, las partes metálicas (piezas polares, carcasa, etc.).

Cuando las tensiones son débiles (hasta 400 V) y no son de temer acumulaciones de polvo, es suficiente con aislar de masa sólo las partes activas en directo contacto con ella.

Para tensiones superiores a 400 V y hasta 5000 V es necesario aislar los arrollamientos que quedan fuera del hierro con un aislante sólido, cuyo poder dieléctrico puede ser menor que el de los aislantes situados en contacto con el hierro. No debemos olvidar que también el aire es un dieléctrico.

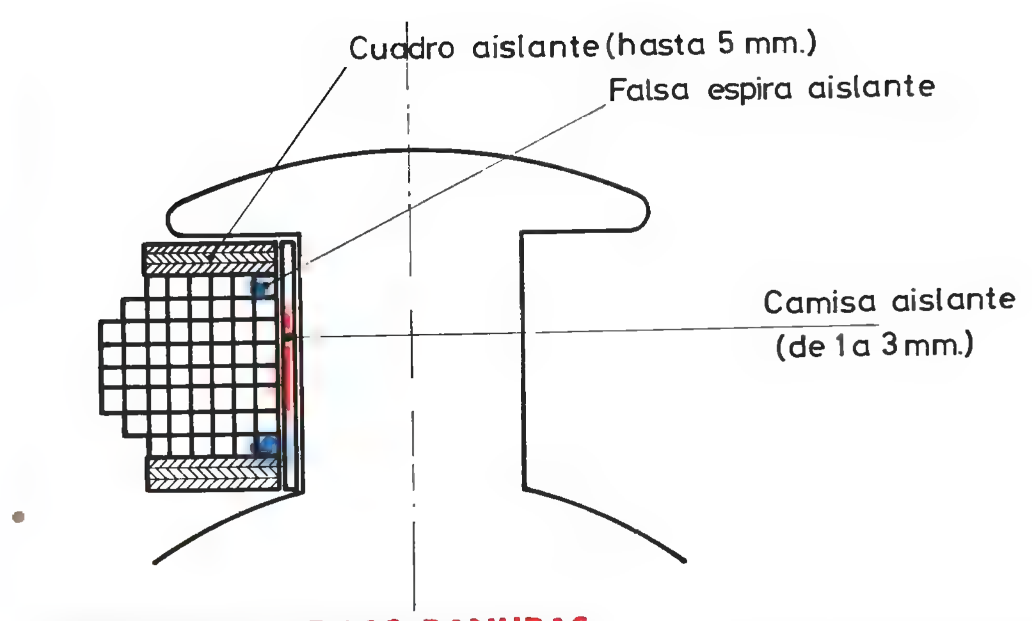
Para altas tensiones (por encima de 5000 V), y siempre que sean de temer acumulaciones de polvo o condensaciones de vapor atmosférico deben aislarse todos los arrollamientos contando con la máxima tensión de trabajo posible.

AISLAMIENTO DE LAS BOBINAS INDUCTORAS EN MAQUINAS SINCRONICAS

La bobina queda separada de la masa por una camisa y unos cuadros aislantes. Parte de la bobina se encuentra en contacto con el aire; este contacto permite buena refrigeración, y, por consiguiente, una mayor densidad de corriente. El espesor de las camisas es de 1 a 3 mm; el de los cuadros es más variable y llega hasta unos 5 mm.

La camisa aislante del polo, así como los cuadros aislantes, se constituye con materiales estratificados aglomerados de micanita presspan o un combinado de ambos.

Se comprende que nos referimos al caso de un inductor de polos salientes y de un aislamiento de masa de tipo general no único.



AISLAMIENTO DE LAS RANURAS
ARROLLAMIENTOS CON HILOS FINO EN RANURAS SEMICERRADAS

Las ranuras se revisten con una hoja aislante. El material depende del tipo de aislamiento que deba obtenerse.

Lo más frecuente es que estos aislamientos de ranura se obtengan introduciendo en ellas una pieza en forma de U de tela aceitada, cartón aislante, película de plástico o de tela de mica. Estos aislamientos se refuerzan en sus extremos y se les hace salir algunos milímetros fuera del hierro.

La bobina, de hilo recubierto de esmalte o de fibra (caso menos corriente), se prepara sobre una plantilla y se introduce luego, hilo por hilo, en la ranura ya revestida con la camisa anterior aislante.



Arrollamiento a una sola capa con bobina de hilo fino.



Corte de un arrollamiento con hilo fino realizado a dos capas.

Una cuña de madera, fibra o presspan cierra la abertura de la ranura.

Este sistema de arrollamiento se impone en ranuras semicerradas, cuya abertura no permite la introducción de conductores de medida o gran sección.

ARROLLAMIENTO DE BARRAS EN DOS CAPAS

En el caso de máquinas de mediana y gran potencia las bobinas, como ya hemos dicho, están formadas por conductores en forma de barras que requieren ranuras abiertas para ser introducidos en ellas. Estas bobinas se introducen cuando ya han sido completamente aisladas. Se preparan bobinas completas en moldes de madera que luego se introducen en la ranura correspondiente. Repetimos que estas barras ya llevan el oportuno aislamiento de masa.

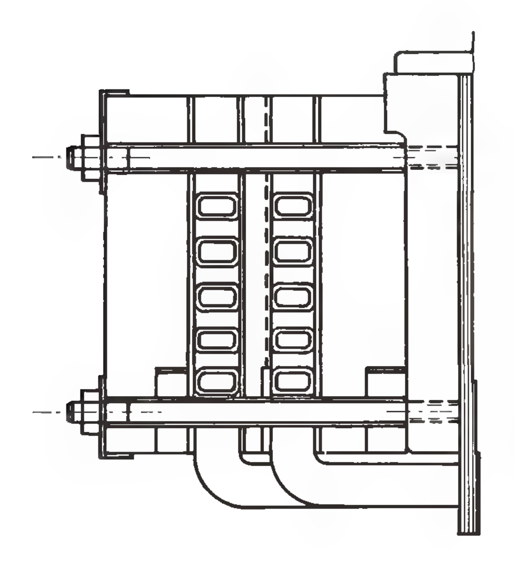
Cuando se trata de grandes máquinas se prepara el devanado con medias bobinas completamente aisladas. Se introducen primero las semibobinas de la capa inferior y luego las de la capa superior, soldando seguidamente sus extremidades.

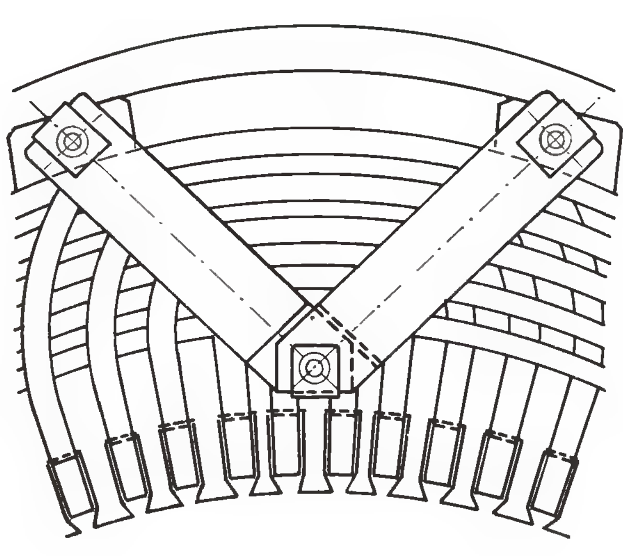
Las cabezas de las bobinas de todos los arrollamientos deben fijarse con seguridad por medio de calas, para evitar que se deformen por la acción de las corrientes que las recorren o por fuerzas debidas a la rotación. En máquinas de gran potencia estas sujeciones tienen una importancia decisiva.

Vea un ejemplo de sistemas de sujeción para cabezas de bobinas.



Barra conductora formada por cuatro secciones de nueve conductores elementales cada una.



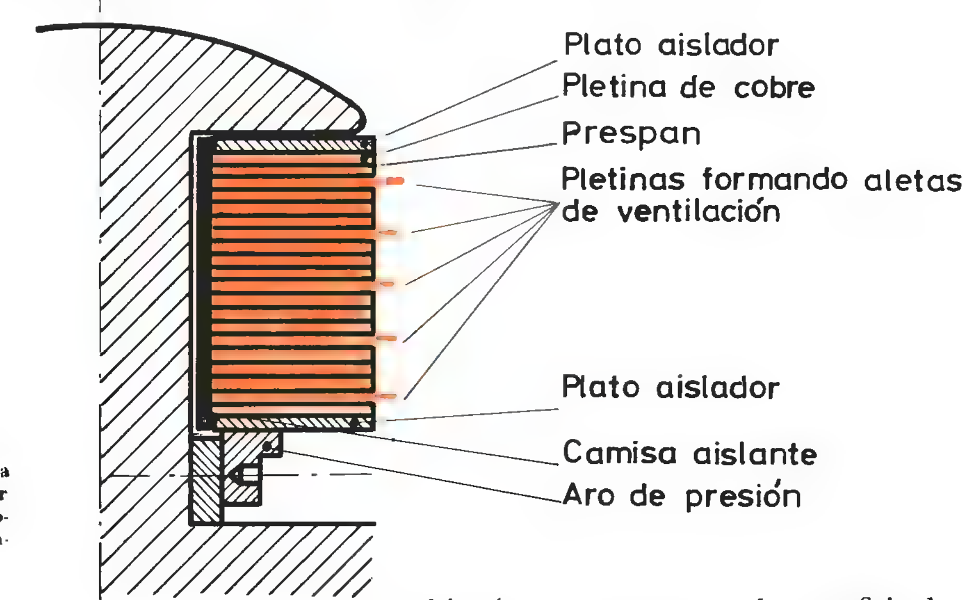


ARROLLAMIENTO DE LOS ROTORES DE MAQUINAS SINCRONICAS

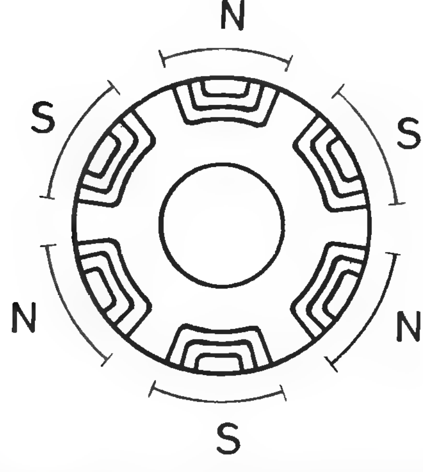
En máquinas pequeñas (de polos salientes) las bobinas inductoras están formadas por hilos redondos o rectangulares que rodean las piezas polares. Los hilos unitarios acostumbran estar esmaltados o recubiertos de algodón. La bobina entera se encinta o se impregna de barniz.

En máquinas de mediana y gran potencia, las bobinas están formadas por pletinas de cable arrolladas y separadas por una capa de cartón presspan.

La superficie exterior de la bobina debe barnizarse con alguna laca apropiada.



Representación esquemática de una bobina para rotor formada por pletinas de cobre. Advierta los aislamientos.



Representación esquemática del rotor de un turbogenerador de seis polos formado por seis grupos de tres bobinas concéntricas.

Además, y para aumentar la superficie de enfriamiento, una de cada tres o cuatro espiras tiene mayor diámetro, formando aletas de ventilación en la superficie exterior de la bobina.

Los arrollamientos de los rotores de polos lisos (para turboalternadores) están formados por bobinas concéntricas. Cada polo tiene un número determinado de bobinas concéntricas realizadas con pletina de cobre.

Los conductores elementales se forman sobre molde para formar las espiras, que se colocan una por una en el interior de las ranuras y se separan con una capa de presspan. Una vez situadas las bobinas se ensamblan las cabezas.

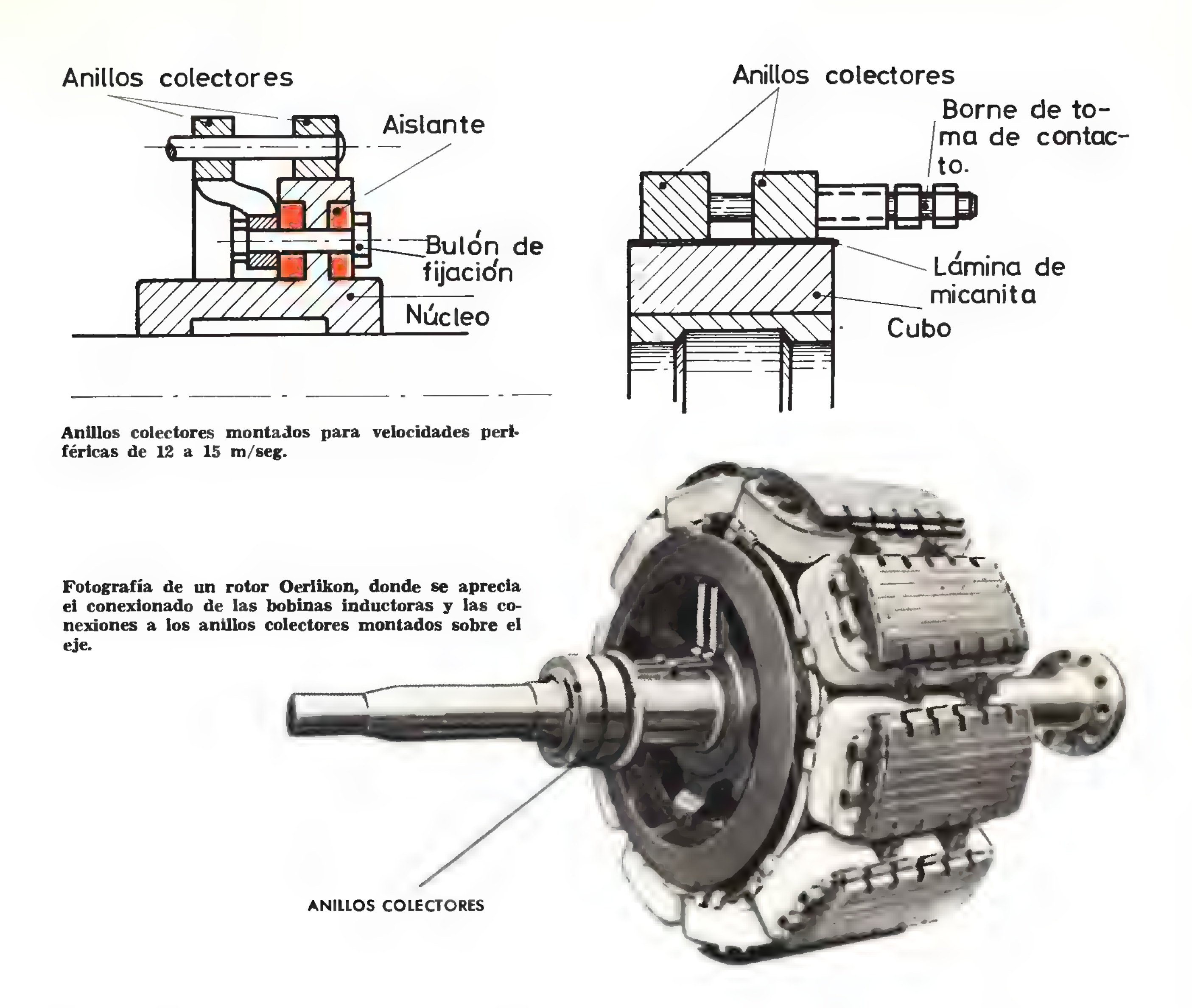
Ya hemos hablado del zunchado que protege las cabezas de bobina de estos rotores, evitando su deformación por la acción de la gran fuerza centrífuga que actúa sobre ellas.

ORGANOS DE TOMA DE CORRIENTE

ANILLOS COLECTORES

Son, como su nombre indica, unos anillos destinados a recoger la corriente de excitación, procedente de la dínamo excitatriz, que alimenta las bobinas inductoras.

Al principio de esta lección hemos dado un gráfico donde se muestra la posición relativa de estos anillos entre la dínamo y el rotor del alternador.



Anillos colectores montados para velocidades periféricas de 12 a 15 m/seg.

Fotografía de un rotor Oerlikon, donde se aprecia el conexionado de las bobinas inductoras y las conexiones a los anillos colectores montados sobre el eje.

Los anillos colectores se construyen en acero o fundición.

Cuando la velocidad periférica de los anillos es de 12 a 15 m/seg, el montaje de los anillos se efectúa por medio de bulones que los fijan a un núcleo especial unido al árbol de la máquina.

Para grandes velocidades los anillos colectores se calan en caliente, sea sobre un cubo especial o directamente sobre el árbol del alternador. Entre los anillos y su asiento se coloca una lámina de micanita.

Para aumentar la adhesión entre las escobillas y los anillos colectores de alta velocidad, se practica en la superficie de éstos unas ranuras helicoidales que, además, aumentan la superficie de enfriamiento.

En máquinas grandes, y puesto que la superficie de enfriamiento de los anillos es siempre pequeña, muchas veces se les provee de aletas de ventilación fresadas en la masa de los aros y de canales para la circulación del aire, estudiando un circuito interior de ventilación.

ESCOBILLAS Y PORTAESCOBILLAS

La corriente continua que recogen los anillos colectores les llega a través de escobillas. Tiempo atrás se emplearon escobillas metálicas, hoy en día desaparecidas y sustituidas por escobillas de carbón que apenas desgastan los anillos. La conexión eléctrica entre la escobilla y el circuito fijo se efectúa por medio de una trenza de cobre muy flexible.

Un portaescobillas debe reunir las siguientes propiedades:

1. Debe asegurar un contacto permanente entre la escobilla y el colector, a pesar de posibles irregularidades en la superficie de éste último y de las vibraciones debidas al movimiento.

2. La presión de la escobilla debe ser regulable en marcha, para contrarrestar cualquier irregularidad a ella debida.

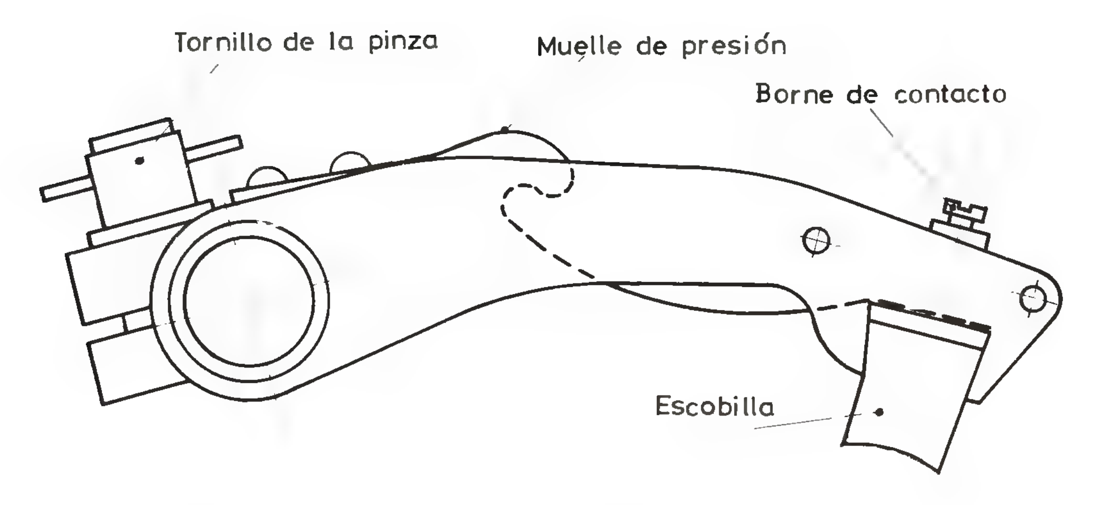
3. El cambio de una escobilla debe ser posible también con la máquina en marcha.

4. La posición de la escobilla sobre el colector debe ser invariable a pesar del desgaste de aquélla.

Cerremos esta cuestión con unas ilustraciones que deben servirnos para tener una clara idea de las soluciones mecánicas que dan al portaescobillas las cuatro cualidades anteriormente citadas.

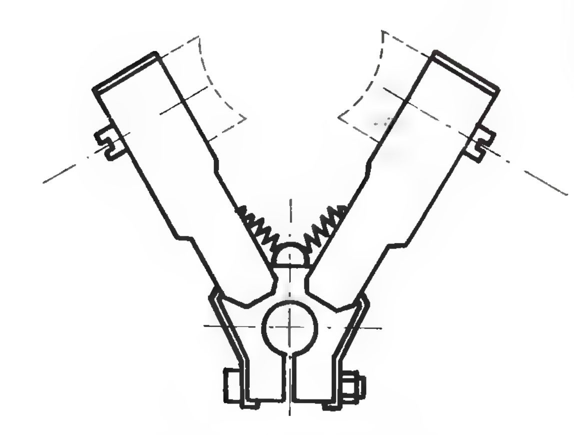
Trenza de cobre
Tornillo regulador de presión
Portaescobilla
Escobilla

Portaescobillas del tipo a reacción.

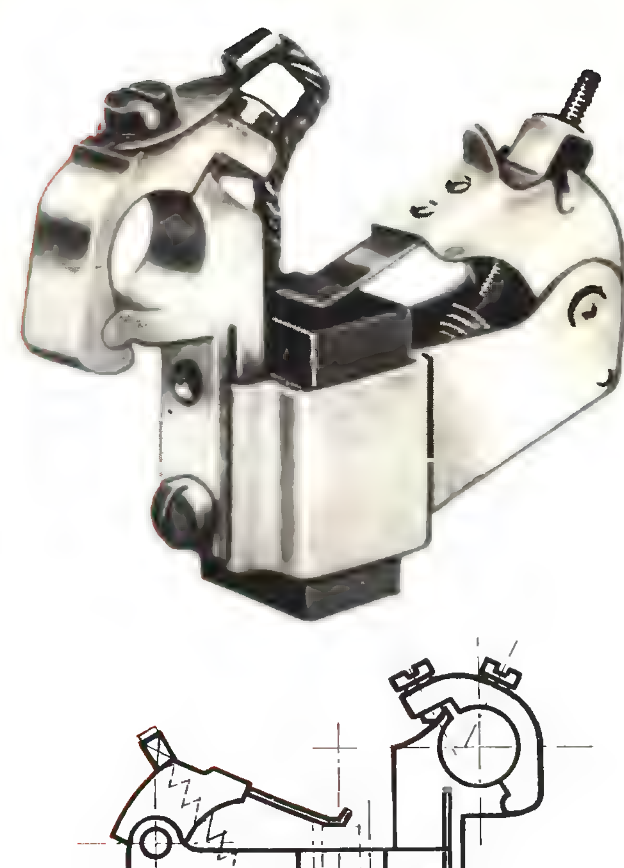


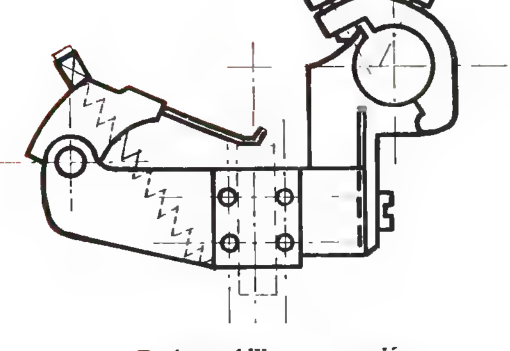
Portaescobillas de pinza. Observe que la regulación de presión se hace accionando el tornillo de la pinza que permite inclinar más o menos el cuerpo del portaescobillas lo que tensa o afloja el muelle de presión.



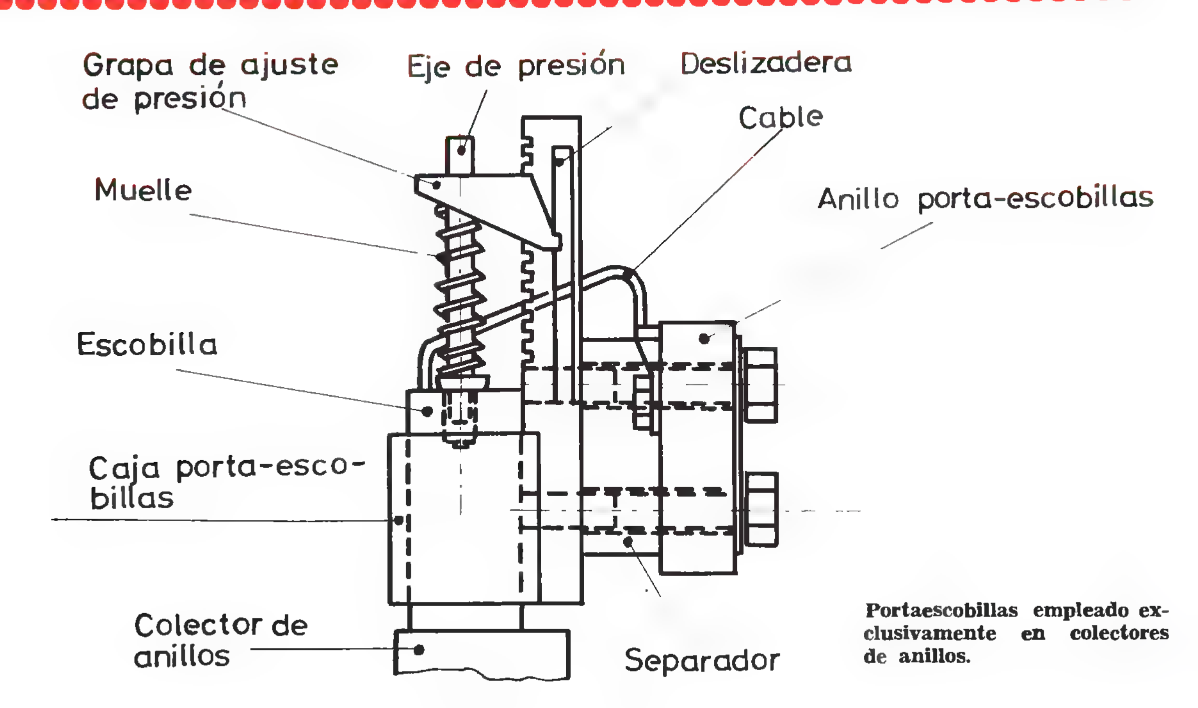


Portaescobillas dobles a pinzas.





Portaescobillas a reacción.



Portaescobillas empleado exclusivamente en colectores de anillos.

ALGUNOS DATOS TECNICOS SOBRE ALTERNADORES

VELOCIDAD SINCRONICA

Venimos hablando de máquinas sincrónicas de c.a. Ha llegado el momento de aclarar este concepto: qué entendemos por sincronismo al referirnos a una máquina eléctrica.

Una máquina eléctrica es sincrónica cuando la velocidad de giro del rotor ofrece una relación de simultaneidad con la frecuencia de la corriente.

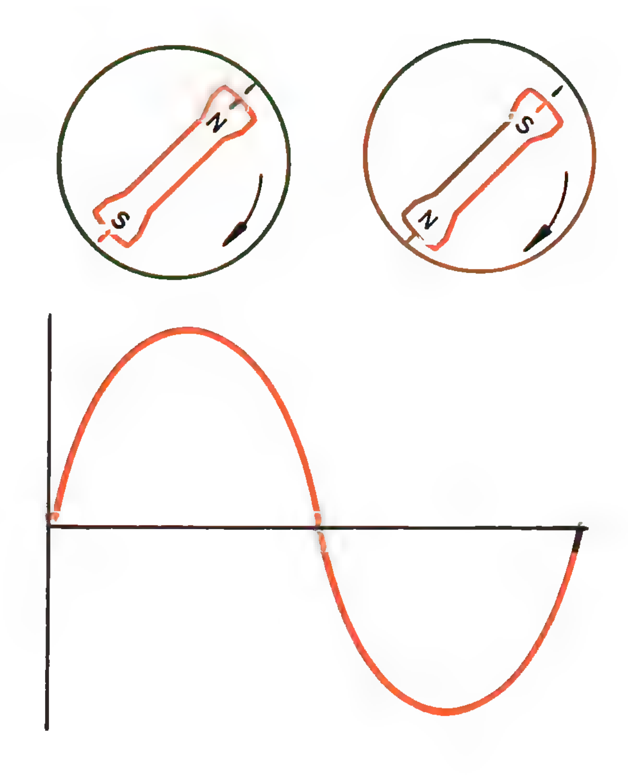
Concretando: una máquina es sincrónica cuando para una frecuencia f de la corriente pasan dos polos en cada período frente a un punto dado del estator.

La velocidad de giro se da en revoluciones por minuto (r.p.m.). Por tanto, entre la velocidad y la frecuencia para una máquina con un número de pares de polos igual a p (la máquina tendrá 2p polos) existirá esta relación:

$$\text{r.p.m.} = \frac{\text{Períodos por minuto}}{\text{Pares de polos}} = \frac{f \times 60}{p}$$

Si la frecuencia es de 50 períodos por segundo, la velocidad de sincronismo será:

$$\text{r.p.m.} = \frac{50 \times 60}{p} = \frac{3000}{p}$$



Una máquina es sincrónica cuando por un punto del estator pasan dos polos durante un período.

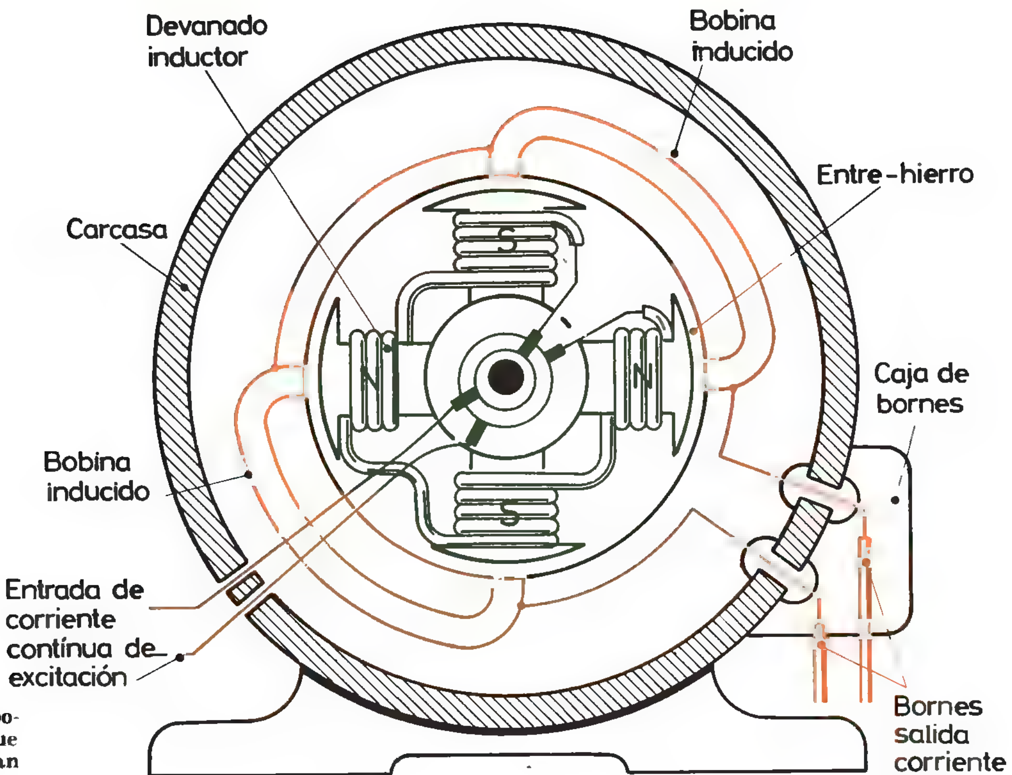
CONEXIONADO DE LOS ARROLLAMIENTOS ESTATORICOS

Los cinco gráficos que llenan este apartado pretenden poner de manifiesto las distintas formas en que pueden conectarse las bobinas inducidas para obtener conexiones monofásicas o trifásicas en estrella y en triángulo. En estos gráficos, y para ganar en claridad, sólo se ha dibujado una bobina por fase.

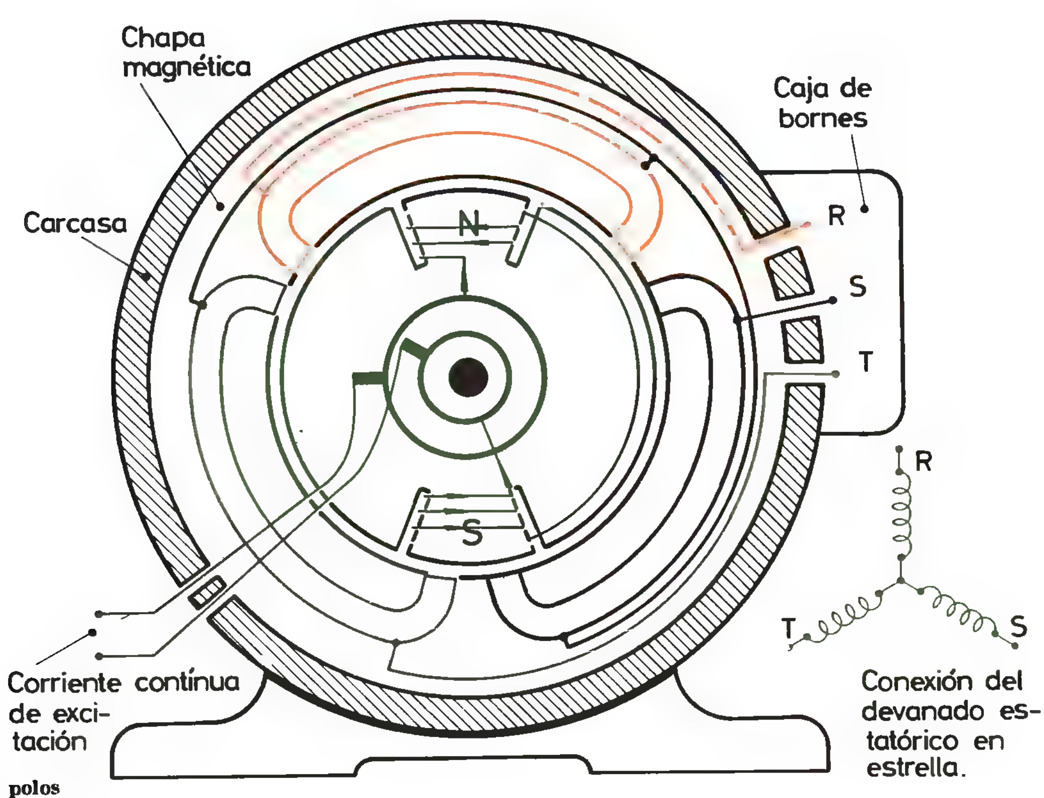
No insistimos sobre las definiciones de los conexionados en estrella y triángulo, puesto que son conceptos ampliamente tratados en más de una de nuestras lecciones anteriores.

Decimos que, en estos gráficos, sólo se ha representado una bobina por fase (nos referimos, naturalmente, al inducido) con lo cual queda explícitamente dicho que pueden existir más de una bobina por fase, como realmente se hace.

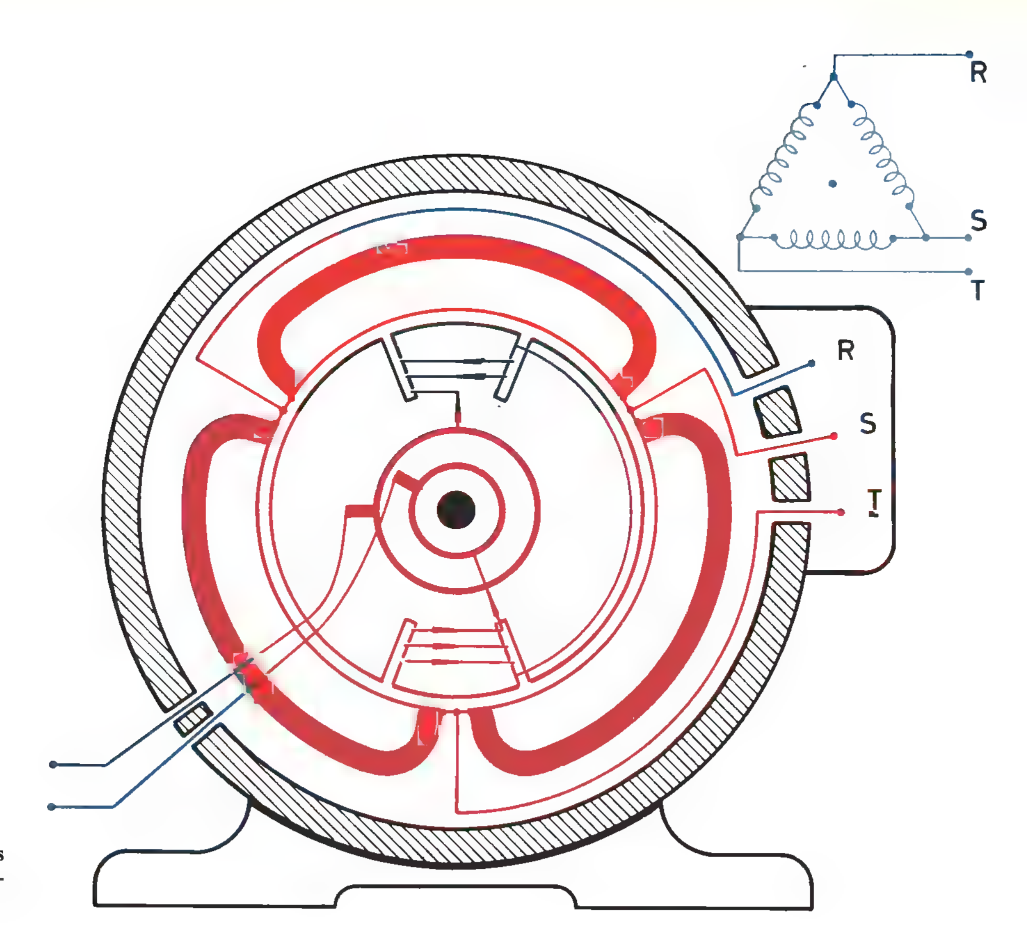
Creemos que en estas ilustraciones se ha conseguido dar una idea clara de la manera de quedar conexionadas las bobinas de cada fase con bobinas de las demás, según pretendemos obtener conexiones monofásicas, o trifásicas en estrella o triángulo.



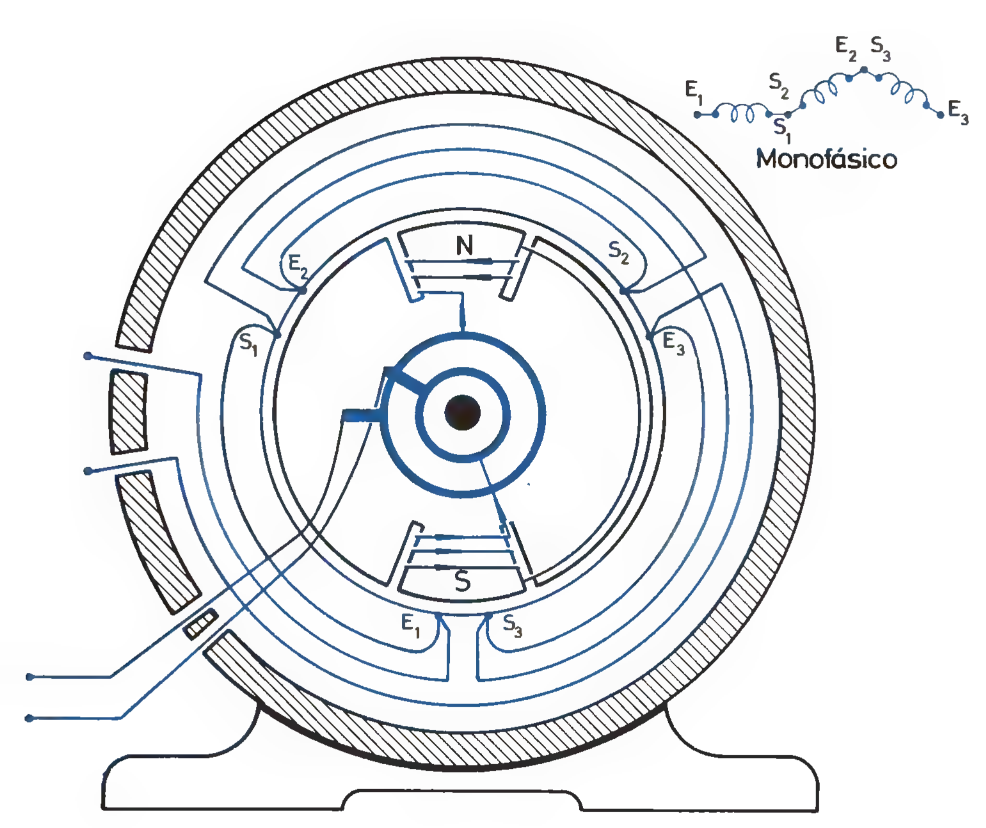
Alternador monofásico a polos salientes. Observe que las bobinas inducidas se han conexionado en serie.



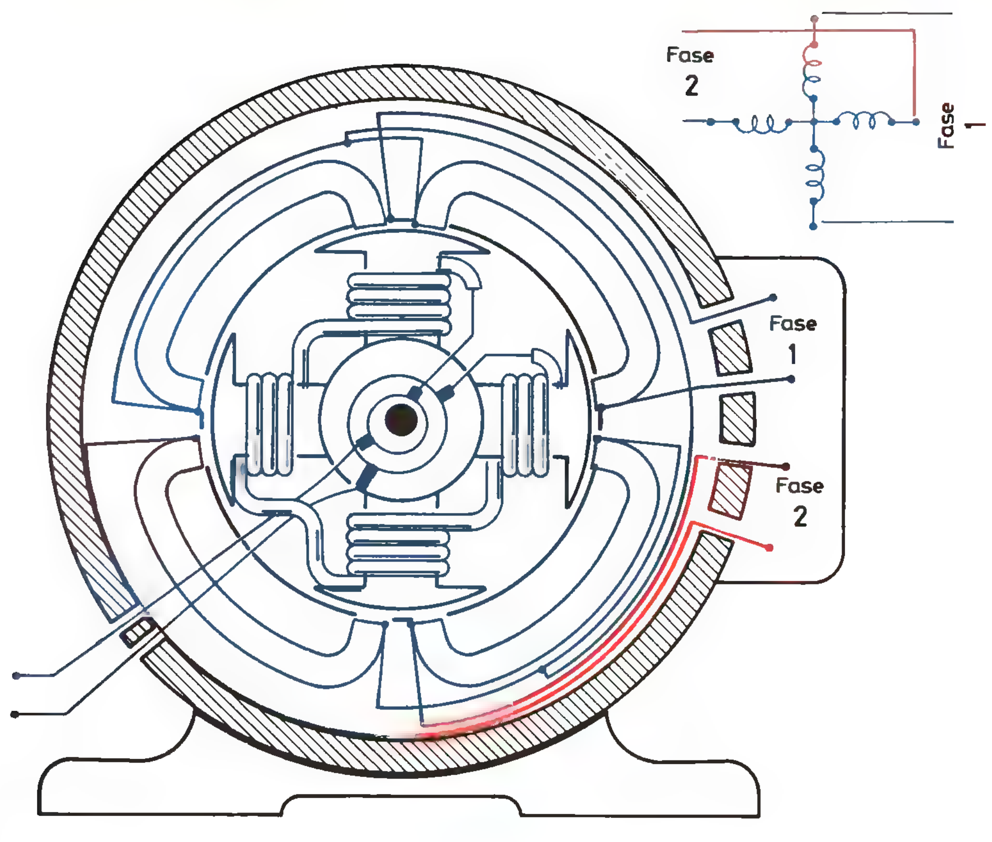
Alternador trifásico a polos lisos, conexionado en estrella.



Alternador trifásico a polos lisos, conexionado a triángulo.



Alternador de tres bobinas inducidas conexionadas en serie formando un circuito monofásico.



Alternador bifásico. Cuatro devanados estatóricos defasados a 90°.

BOBINADOS ESTATORICOS - SUS TIPOS

En la primera parte de esta misma lección hemos estudiado los detalles constructivos del alternador, entre los cuales encontramos la forma que podrán adoptar los bobinados del estator o inducido. En esta segunda parte ofrecemos una idea más técnica de la cuestión, dándole a conocer la representación esquemática de los devanados estatóricos más utilizados en los alternadores.

No olvide, por favor, que casi todos los conceptos estudiados en nuestras lecciones con referencia a los generadores de corriente continua son también válidos en el caso de los alternadores.

Las numerosas variedades de bobinados de alternadores pueden agruparse en dos familias: los de una capa y los de dos capas. Cada una de estas capas puede estar formada —la parte de la bobina interior a la ranura— por bobinas devanadas, conductores macizos o bobinas repartidas, en forma de devanados ondulados o imbricados (como en el caso de las dínamos) según sea la forma de conectar las cabezas de bobina. En máquinas pequeñas se usa un devanado de bobinas de tipo concéntrico practicado en ranuras semicerradas.

Los devanados pueden ejecutarse por medio de bobinas o por lo que se llama secciones idénticas. Se trata de una nomenclatura no muy exacta. En general, se habla de una bobina cuando se trata de devanados continuos o de devanados por elementos preparados en moldes, destinados a ocupar dos ranuras completas con un solo eje de simetría.

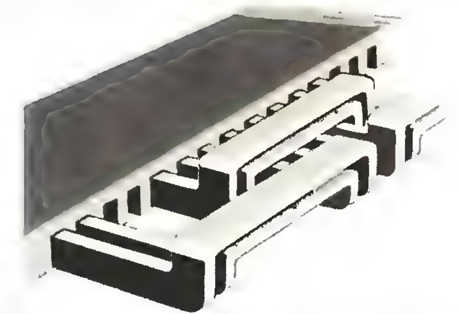


Bobina.

Comúnmente, hablamos de un arrollamiento por secciones cuando lo ejecutamos con elementos uniformes (barras conductoras) destinadas a ocupar dos ranuras completas (arrollamientos a una capa), o la mitad superior de una y la mitad inferior de la otra. Cada sección se prepara con total independencia del estator; en moldes que generalmente son de madera.



Arrollamiento por secciones en dos capas.



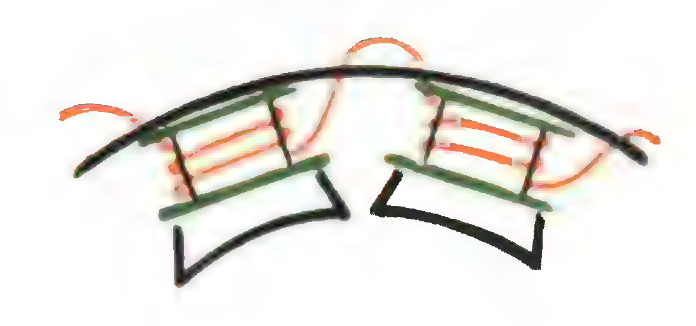
Arrollamiento de una sola capa con secciones concéntricas.

DEVANADOS DE UNA SOLA CAPA

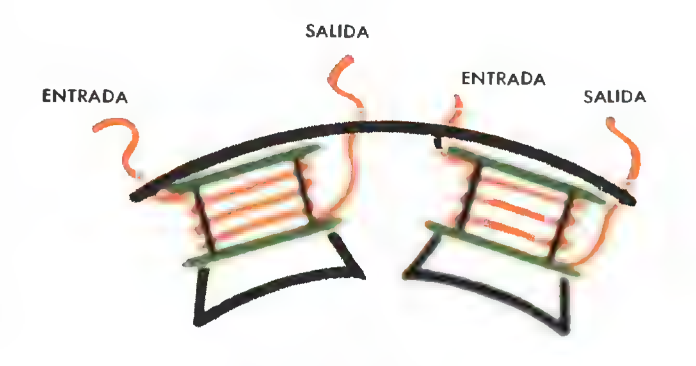
Los devanados de una sola capa (cada ranura estará ocupada por un solo brazo de bobina) pueden realizarse con bobinas o con secciones idénticas, según los casos e importancia de la máquina. Los bornes de los arrollamientos deben ocupar posiciones fijas preestablecidas; pero no así las posibles conexiones entre secciones, que pueden establecerse donde resulte más práctico, ya que las f.e.m. de las bobinas se sumarán igualmente.

Cuando el devanado de una sola capa se hace con bobinas, puede obtenerse por un devanado continuo (por polos consecuentes) o bien por un devanado independiente para cada polo (devanado por polos). En este segundo caso se tiene la ventaja de poder preparar bobinas independientes y de un solo tipo.

Un devanado por secciones puede ser ondulado o imbricado (igual que en las dínamos), aunque el arrollamiento ondulado de una sola capa está prácticamente abandonado. En el arrollamiento imbricado, las secciones pueden quedar decaladas (corridas una o más ranuras respecto a la sección inmediata), pero siempre serán secciones idénticas.



Devanado a polos consecuentes.



Devanado por polos.

DEVANADO EN DOS CAPAS

Este devanado sólo puede realizarse de otra forma de secciones idénticas, tanto en ondulado como en imbricado. Se comprende que en este caso los conductores de una misma fase deben conectarse en un orden dado, puesto que la f.e.m. producida en una espira es el resultado de las f.e.m. de las dos capas.

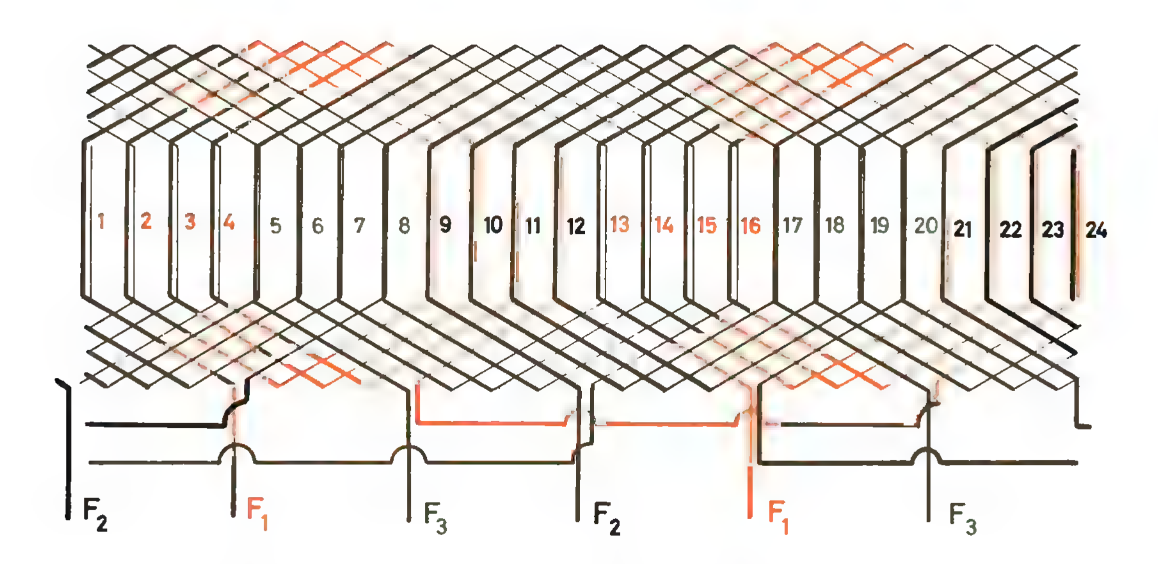
En devanados de este género es posible establecer pasos fraccionales. Sobre ello, empero, no queremos insistir por escapar al carácter elemental de esta lección.

Estos devanados están determinados por el número de ranuras que corresponden por polo y por fase.

Vea este ejemplo de devanado imbricado de dos capas:

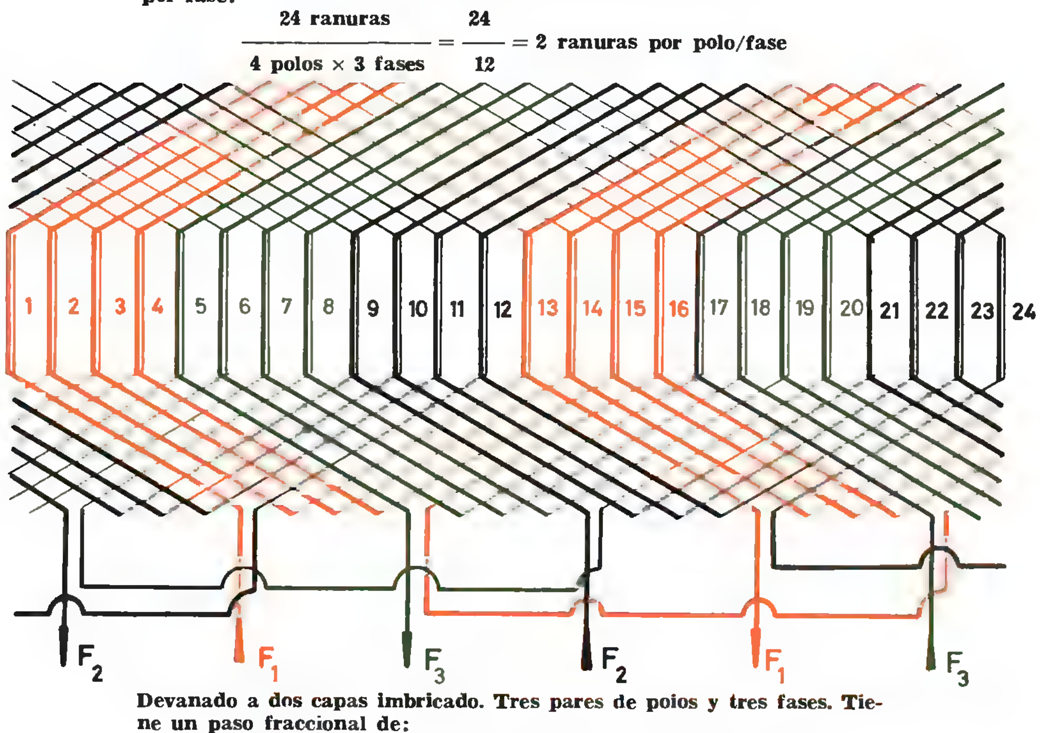
Este es un devanado con paso entero.

En cambio, el esquema de devanado imbricado de dos capas que damos en segundo lugar es de paso fraccional, puesto que son tres pares de polos y tres fases, repartidas en 24 ranuras. El cociente no es entero.



Analicemos este esquema de devanado. En él tenemos la representación rectangular de un estator de 24 ranuras (cada número corresponde a una ranura). En este estator se ha practicado un devanado imbricado a doble capa por secciones idénticas. El trazo más grueso de cada tramo de ranura, representa la capa exterior; el trazo más fino es la capa inferior, la más profunda. Se trata de un devanado trifásico (F_1, F_2 y F_3) con cuatro polos (dos pares de polos). Diremos que se trata de un devanado cuyo paso polar es de dos ranuras por polo y por fase:

$$\frac{24 \text{ ranuras}}{4 \text{ polos} \times 3 \text{ fases}} = \frac{24}{12} = 2 \text{ ranuras por polo/fase}$$



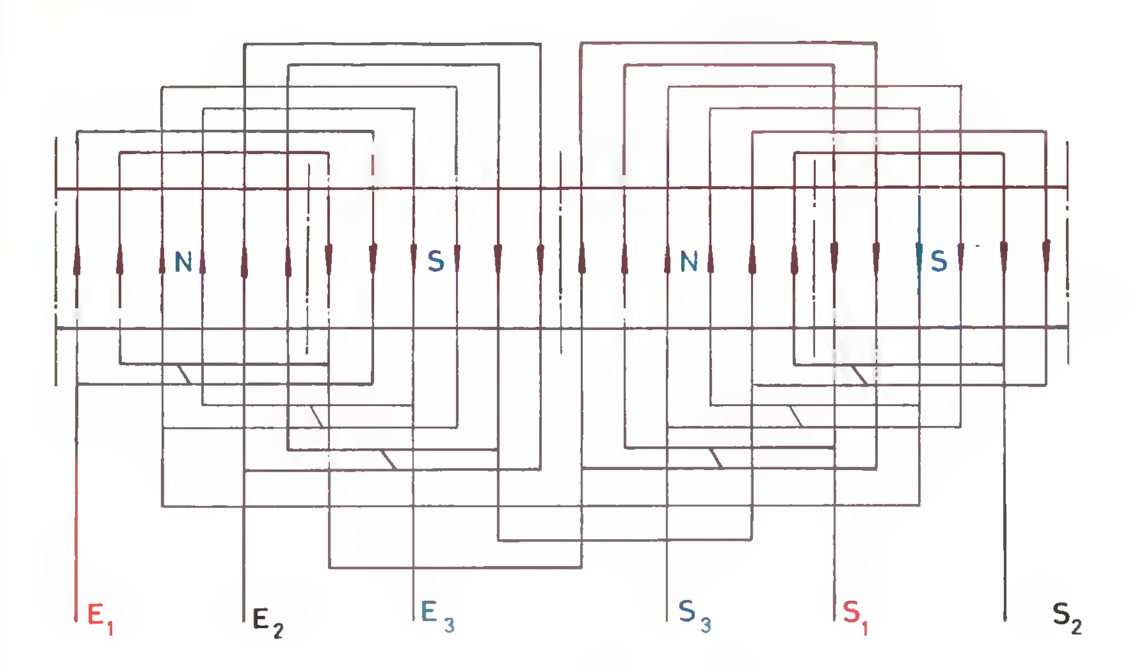
Devanado a dos capas imbricado. Tres pares de polos y tres fases. Tiene un paso fraccional de:

$$\frac{24 \text{ ranuras}}{6 \text{ polos} \times 3 \text{ fases}} = \frac{24}{18} = 1\frac{1}{3} \text{ ranuras por polo/fase.}$$

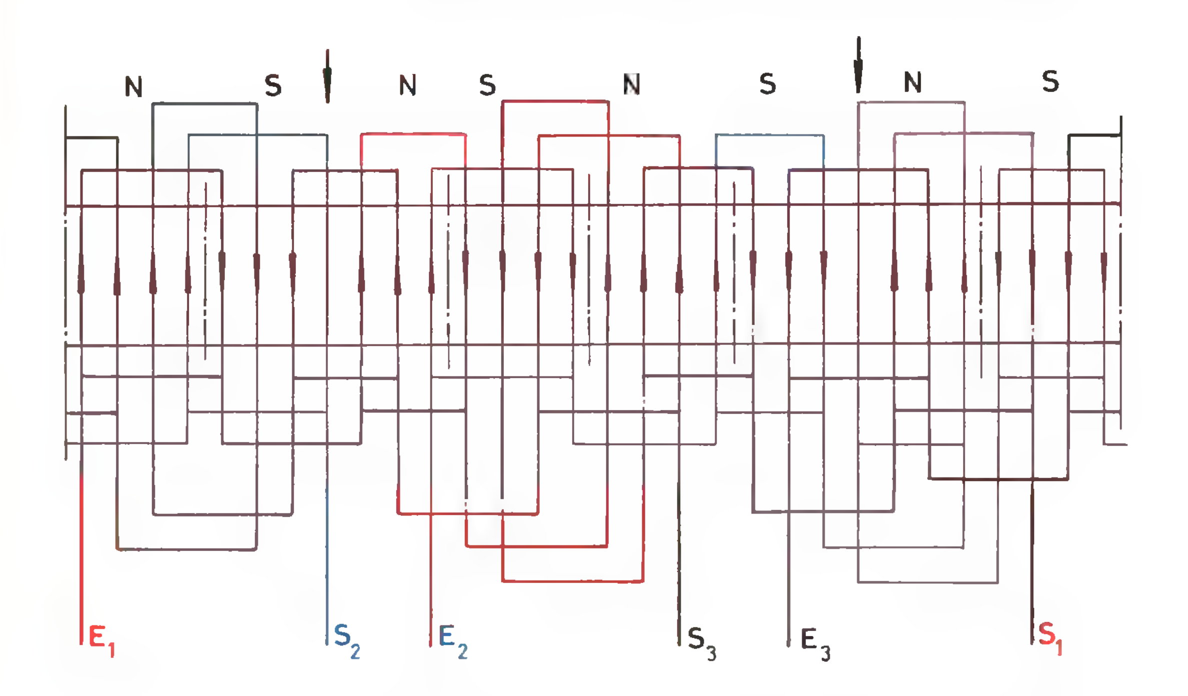
Vea ahora un arrollamiento trifásico, no ya por secciones idénticas, sino por bobinas. Se trata de un arrollamiento de una bobina por polo y por fase.

Hemos trazado cada bobina en un color distinto a fin de que pueda distinguirlas sin esfuerzo visual alguno.

La obtención de arrollamientos o bobinas con un número fraccionario de ranuras, por polo y por fase, ofrece algunas complicaciones. Sepa, eso sí, que existen arrollamientos de este tipo, cosa que corroboramos con un esquema de arrollamiento trifásico de bobinas de 1,25 ranuras por polo y por fase.



Arrollamiento trifásico a una bobina por polo y por fase.



Arrollamiento trifásico de 8 polos, 30 ranuras, 1'25 ranuras por polo y por fase.

TRES CUESTIONES TEORICAS

Como final de esta lección de Electrotecnia citamos tres cuestiones de naturaleza teórica que nos parece obligado añadir a título de información para el alumno. Repetimos aquí lo que hemos dicho al principio de la lección: nunca ha sido nuestra idea capacitar al lector para el cálculo de alternadores. Es cuestión que se escapa del nivel teórico que puede exigirse al estamento laboral que se conoce con el nombre general de técnico electricista. Se trata de un tema propio tan sólo del ingeniero especialista.

Era obligado *tocar* el tema, y lo hemos hecho al nivel que reclama nuestra obra.

Ahora, para terminar, conozca tres últimas cuestiones:





Campo magnético en el entrehierro

Con el inductor excitado, el campo magnético en el entrehierro ofrece el espectro que dibujamos en la figura inmediata. Si el circuito del inducido está abierto, la intensidad del campo en cada punto de la periferia es inversamente proporcional a la longitud de la línea de fuerza que pasa por este punto.

Fuerza electromotriz inducida en una espira

La fuerza electromotriz inducida en una espira por el campo magnético del entrehierro, mientras dicha espira abraza un paso polar, es:

$$e_1 = \frac{H \times l \times N}{100000000} \text{ voltios}$$

En esta expresión es:

H = intensidad de campo;
l = longitud del conductor;
N = velocidad de desplazamiento del conductor.

La fuerza electromotriz eficaz es:

$$E = 4'44 \, f \times \Phi \times 10^{-8} \text{ voltios}$$

La frecuencia es f, y Φ el flujo del campo.

Si llamamos c al número de espiras de una bobina (que tendrá 2c conductores repartidos en dos ranuras), la f.e.m. inducida en ella será:

$$E = 4'44 \times c \times f \times \Phi \times 10^{-8} \text{ voltios}$$

Formas de la onda de la f.e.m.

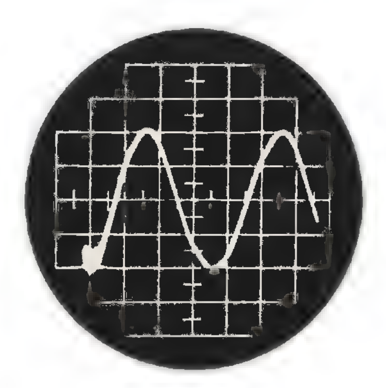
La figura muestra la forma de las ondas de la f.e.m. obtenidas de alternadores en la pantalla de un osciloscopio. Salvo en casos muy especiales, interesa que la forma de la onda de la fuerza electromotriz de un alternador sea senoidal.

Acción de los armónicos

Asociadas a la onda principal o fundamental de la f.e.m. de un alternador, se presentan otras ondas cuya frecuencia es múltiplo de la fundamental. Estas ondas reciben el nombre de armónicos.







Si una onda fundamental tiene una frecuencia f, diremos que su segundo armónico tiene una frecuencia $f_2 = 2f$. Su tercer armónico tiene una frecuencia $f_3 = 3f$, y así sucesivamente.

Los armónicos causan pérdidas y caídas de tensión en las máquinas; calientan la superficie de las masas polares y, por conducción, también las bobinas, provocando una disminución de la potencia de la máquina.

El origen de los armónicos de la fuerza electromotriz no proviene de una causa única. A su aparición contribuye la forma de las masas polares, la abertura de las ranuras, la saturación magnética de los dientes que forman las ranuras, etc.

* * * * *



19

Instrucciones para la construcción de un alternador monofásico

Como colofón de este árduo tema, de los alternadores, que suponemos ha representado para usted una verdadera pesadilla, le proponemos un segundo capítulo donde, con una práctica en la que sólo jugará su habilidad manual, esperamos su reconciliación con los generadores de corriente alterna.

Vamos a construir un generador de corriente alterna monofásica, cuya tensión variará entre 10 y 125 V según sea la intensidad de la inducción magnética que podamos conseguir. La intensidad de salida de la corriente generada será de 0'5 A aproximadamente.

Se trata, como puede comprender, de una práctica cuyo valor es más experimental que práctico. Sin embargo, le aseguramos que con este alternador cuya construcción le proponemos podrá conseguir corriente alterna con una velocidad de giro de sólo 750 r.p.m.

Antes de empezar, hagamos un recuento de los materiales necesarios que se precisan para realizar esta práctica.

MATERIAL NECESARIO

Plancha magnética: necesitaremos unos 220 dm^2 de plancha magnética de 0'3 mm.

Hilo de cobre esmaltado: precisamos 1600 gr de hilo de cobre esmaltado de 0'5 mm.

Varilla de hierro roscada: 60 cm de varilla roscada de 5 mm de diámetro.

Arandelas y tuercas: 40 tuercas y 40 arandelas con la misma rosca de la varilla.

Núcleo del inductor: precisamos una plancha de fundición, hierro dulce o acero de 15 mm de grueso y 53 mm de radio (es una pieza circular).

Dos aros de hierro, de las dimensiones y con los taladros que se indican más adelante.

Añada a este material básico: latón para las dos escobillas, las pilas de excitación para el inductor, cinta aislante, etc.

En cuanto a herramientas, las normales en todo taller: alicates, lima, destornillador, martillo, etc.

Reconocemos que algunas de las operaciones que describimos, requieren un utilaje y una habilidad que no podemos considerar al alcance de todos; pero siempre es posible encontrar algún industrial que se preste a construir aquellas piezas para cuya obtención estamos incapacitados. Lo que usted necesita, por encima de todo, es paciencia y tranquilidad; pensar que no es cosa de solucionar esta práctica en un día.

CONSTRUCCION DEL INDUCIDO

Figura 1

En plancha magnética (o en su defecto con hojalata oxidada) de 0'3 mm de grueso, cortaremos 344 chapas de la forma indicada en la figura. Necesitamos 43 chapas por polo.

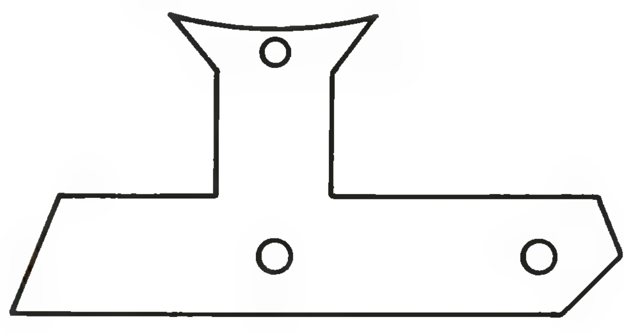

Fig. 1

Figura 2

En un taco de madera colocaremos dos clavos sin cabeza con una separación de 70 mm. Una vez dispuesta esta especie de horma iremos colocando chapas y alternando su posición, introduciéndolas en un clavo o en otro a través del agujero del ala de cada una de las chapas. Formaremos así un empilado de 43 chapas, que sujetaremos con tornillos y tuercas o con dos trozos de varilla roscada. El empilado de cada juego, una vez apretado a conciencia, debe tener un espesor de 15 mm.

Repetiremos esta operación otras siete veces hasta construir las ocho piezas polares.

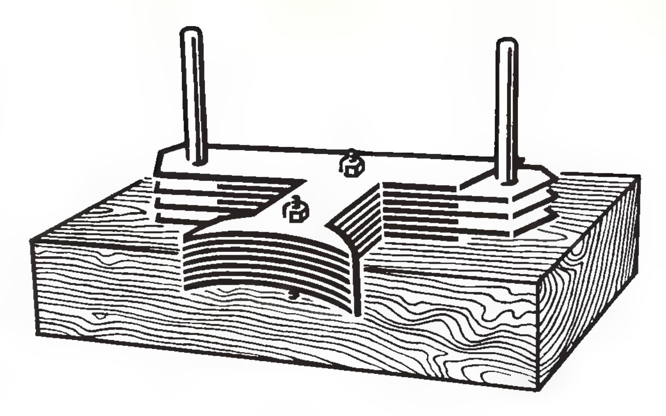
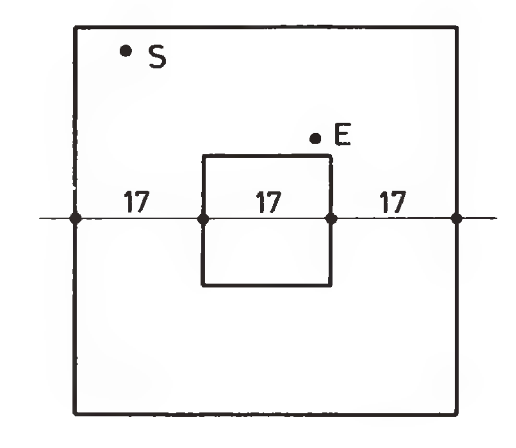


Fig 2

Figura 3

Construya ahora los carretes para las bobinas de cada polo. Cada carrete consta de una pieza central que rodea la masa polar y de otras dos piezas cuadradas que serán los límites superior e inferior del carrete. En esta figura aparecen las medidas de las piezas que hemos citado. Utilice cartón lo bastante rígido como para que no se deforme con demasiada facilidad; puede ser press-pan u otra clase parecida.

No olvide practicar los dos pequeños taladros en una de las piezas cuadradas del carrete; taladros que marcará con las letras *e* y *s* correspondientes a la entrada y salida del hilo de la bobina.



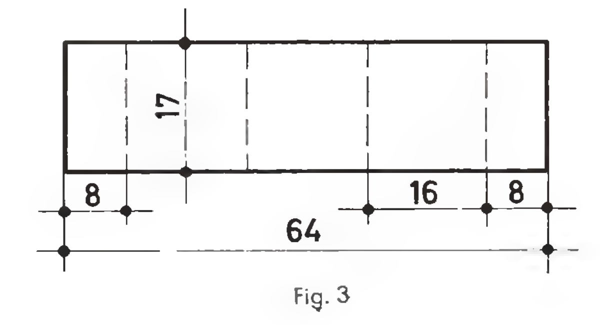


Fig. 3

Bobinado de los carretes

Cada bobina debe tener unas 700 vueltas (aproximadamente) practicadas con hilo de cobre esmaltado de 0'5 mm. Todas las bobinas deben devanarse *en el mismo sentido*. Introduciremos el cabo de entrada por el orificio marcado por una *e*; una vez bobinado el carrete sacaremos el cabo final por el agujero marcado con una *s*. Terminada la bobina, la recubriremos con papel parafinado.

Figura 4

Una vez hayamos bobinado los ocho polos, los reuniremos según indica la figura, formando un octágono regular a base de intercalar los extremos de la chapa de cada polo con los extremos de las chapas de los que a él concurren. Al ejecutar esta observación debe poner especial atención en un detalle: la entrada de una bobina debe corresponder con la entrada de la otra; y a la inversa, también las salidas deben quedar encaradas.

Figura 5

Necesitamos dos anillos como el representado en la figura. Su grueso debe ser 1 mm.

Practicaremos en esta corona circular los taladros que se indican, operación ésta que debe realizarse con la máxima precisión, puesto que de ello depende que los polos del alternador ofrezcan una superficie interior perfectamente circular.

Aplicaremos una corona por cada lado del inducido, *atornillándolas fuertemente*.

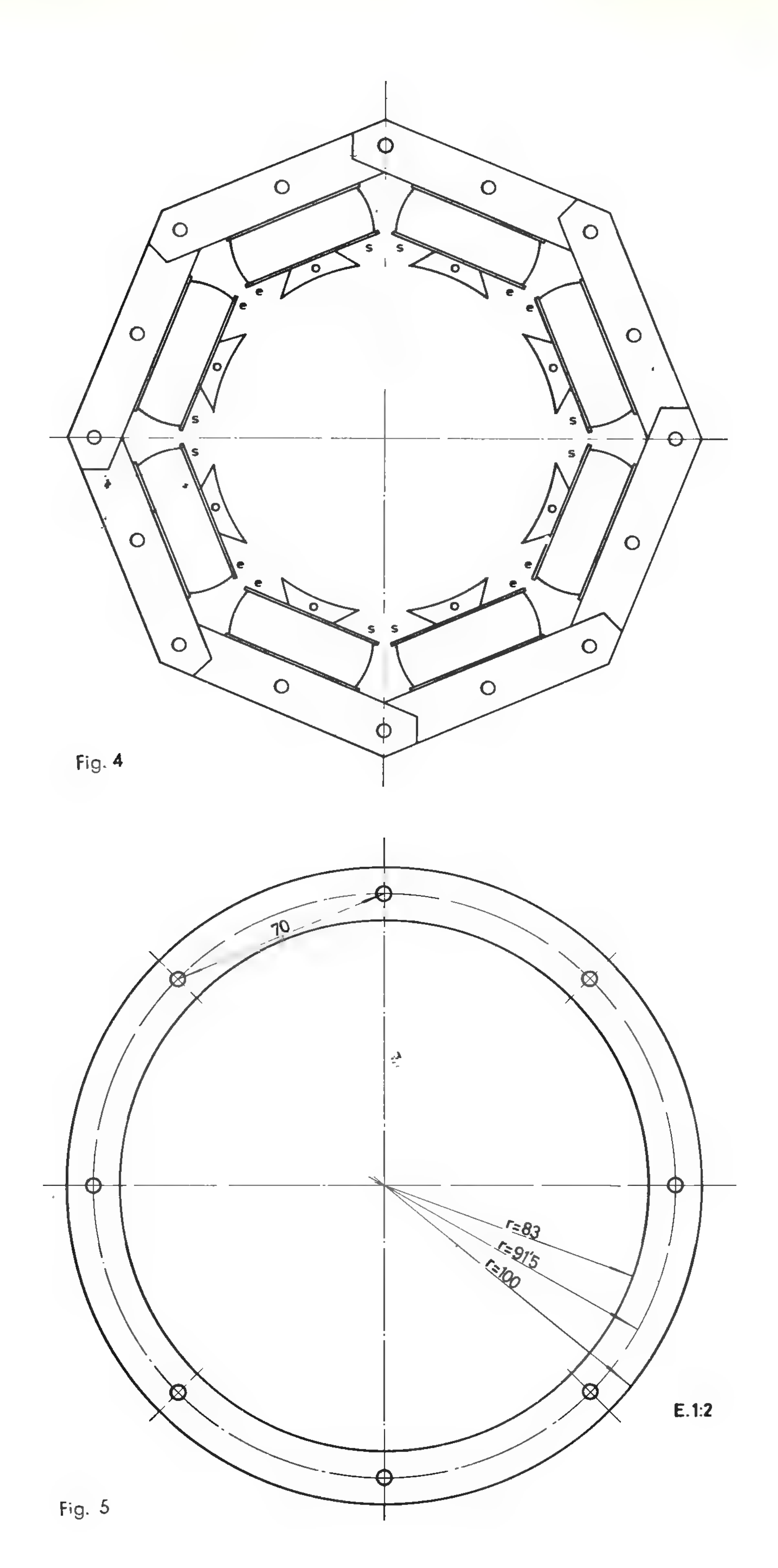


Fig. 4

Fig. 5

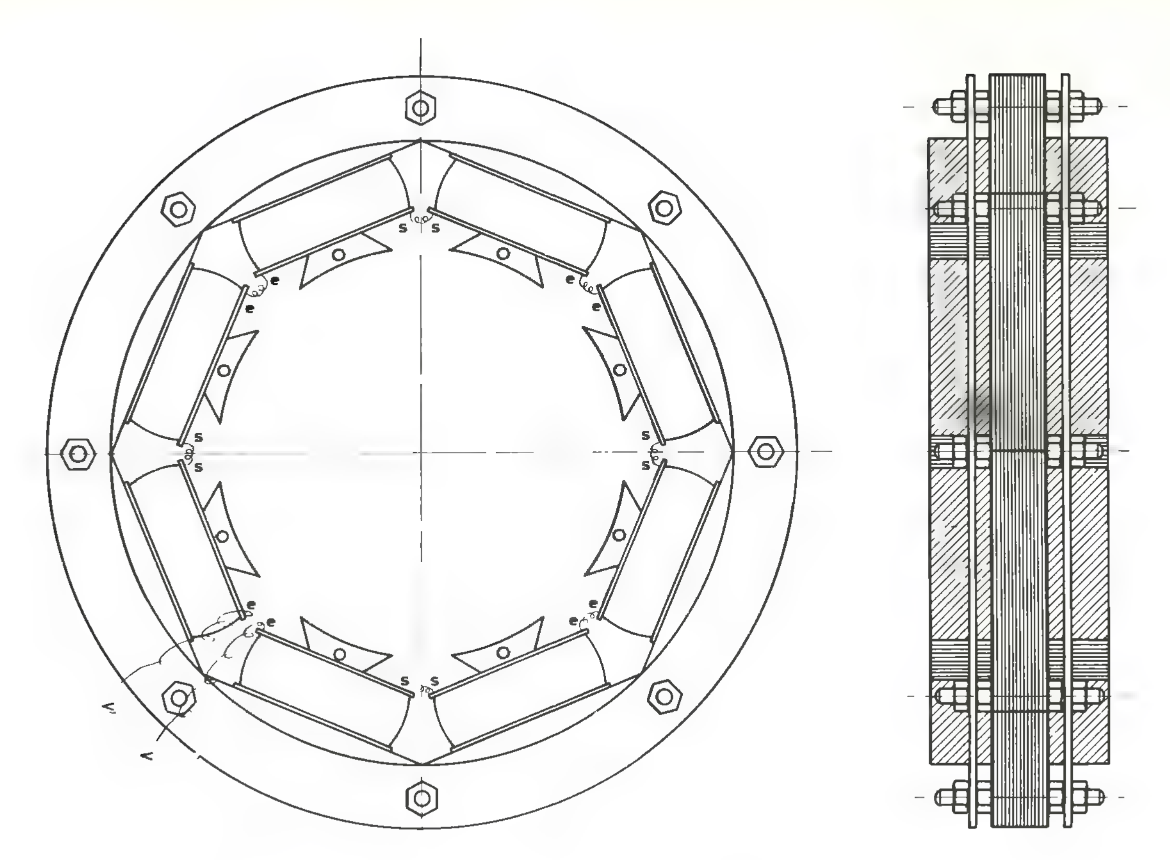


Fig. 6

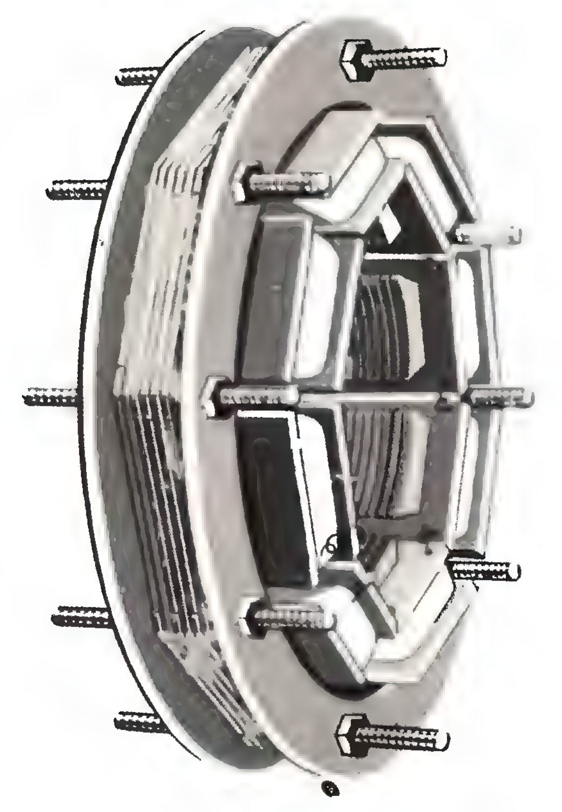


Fig 7

Figuras 6 y 7

Esta figura es la vista lateral y frontal del inducido terminado. Observe que en esta fase hemos practicado las uniones entre bobinas; entradas con entradas y salidas con salidas. Los extremos señalados con V y V' son las tomas de corriente para el circuito exterior que podamos conectar a nuestro generador.

Para mayor claridad añadimos una representación en perspectiva de todo el conjunto del inducido.

CONSTRUCCION DEL INDUCTOR O ROTOR DEL ALTERNADOR

Figura 8

He ahí la forma que debe tener el núcleo del electroimán que constituye el rotor de este alternador. En la figura están acotadas todas las medidas necesarias para su construcción.

Sin duda alguna el mejor material para construir esta pieza es el acero; pero por su difícil mecanizado podemos emplear fundición de hierro o bien hierro dulce.

La mecanización de esta pieza difícilmente puede conseguirse con perfección trabajando en plan casero. Por ello es mejor encargarla a un taller mecánico, donde podrán confeccionarla con gran facilidad.

Una vez en nuestro poder la pieza, recubriremos la parte inferior o gargantas de los polos con un encintado aislante, que con facilidad podemos conseguir con cualquier tipo de cinta adhesiva de las que nunca faltan en el mercado.

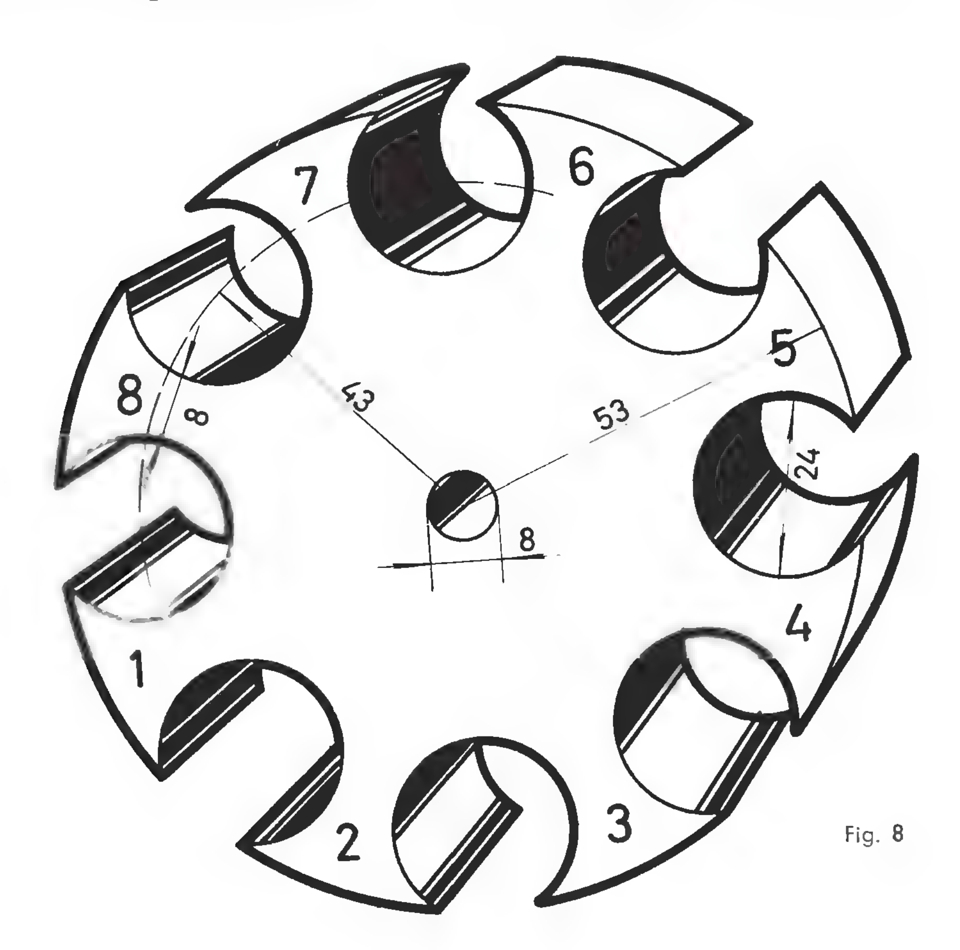


Fig. 8

Figura 9

Con hilo de 0'5 mm bobinaremos los ocho polos del inductor, cada uno de los cuales debe tener unas 100 espiras aproximadamente.

¡Cuidado con el sentido del bobinado! Cuando una espira esté terminada pasaremos a bobinar la siguiente sin cortar el hilo, y teniendo la precaución de que si la anterior la hemos bobinado *a derechas,* deberemos bobinar la siguiente *a izquierdas*. Es decir: dos bobinas consecutivas estarán siempre bobinadas en sentido contrario.

También aquí es prudente recubrir las bobinas con una capa de papel parafinado. Con ello evitaremos que por efectos de la rotación o por el roce de nuestros propios dedos puedan aflojarse los bobinados del electroimán inductor.

Para mayor seguridad es conveniente que tanto las bobinas inductoras como las inducidas se barnicen concienzudamente con barniz laca.

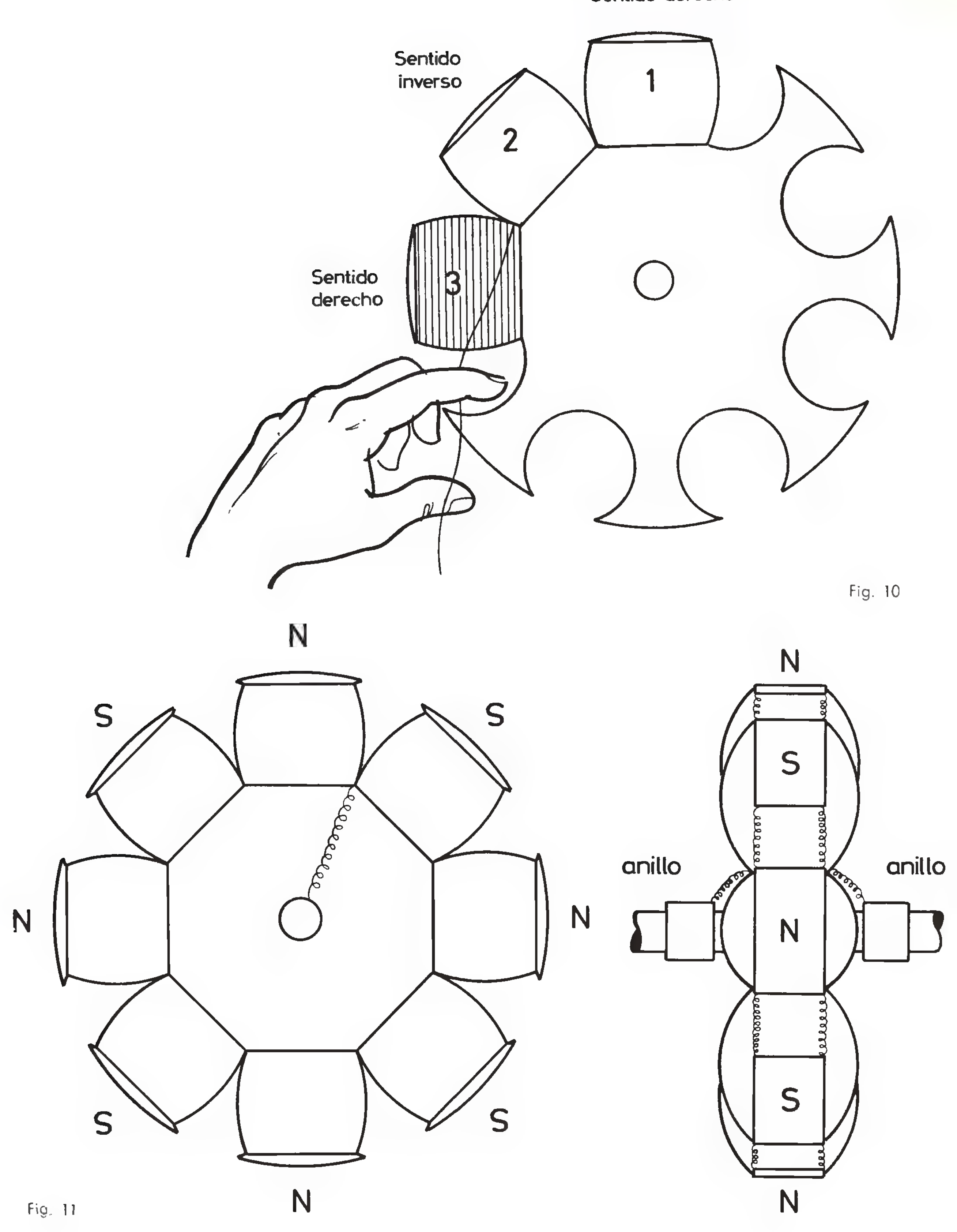

Sentido derecho
Sentido inverso
1
2
Sentido derecho
3
N
S
S
N
N
S
S
N
N
S
anillo
N
anillo
S
N

Fig. 10

Fig. 11

Figura 10

Éste es el aspecto que ofrece el inductor una vez terminado. En la figura puede ver una vista frontal y otra de perfil, donde se muestra con claridad que los cabos de la última bobina quedan conectados a dos anillos de cobre situados a ambos lados del electroimán. Estos anillos deben quedar aislados del eje, cosa fácil de conseguir con un poco de cinta adhesiva aplicada directamente sobre el eje, y sobre la cual entrarán con apriete.

Figura 11

En plancha de latón un poco gruesa (1'5 mm, por ejemplo) cortaremos dos piezas como la dibujada en nuestra figura, las que servirán como soportes del eje del inductor. En el taladro central de estos soportes deberemos colocar un pequeño casquillo que actúe de cojinete. Estos casquillos, uno en cada soporte, deberán tener un diámetro interior que permita el perfecto deslizamiento del eje del rotor, que tendrá, como hemos dicho anteriormente un diámetro de 8 mm.

Y puesto que hablamos del eje, digamos que esta pieza estará formada por un trozo de varilla de hierro calibrada del diámetro citado y cuya longitud será de unos 60 mm. El eje debe soportar el inductor y las dos delgas; debe atravesar los soportes y mantener en uno de sus extremos una polea para la transmisión mecánica que dará lugar al inductor.

Figura 12

La sujeción del alternador sobre su base se hará por medio de las escuadras que representa nuestra figura 12. Creemos que no puede existir la menor duda sobre la forma y dimensiones de estas escuadras de sujeción. En total necesitamos cuatro escuadras largas y dos cortas.

El tablero de madera sobre el cual sujetaremos el alternador tendrá unas medidas aproximadas de 150 × 220 × 12 mm. Pueden añadirse unos taquillos de goma.

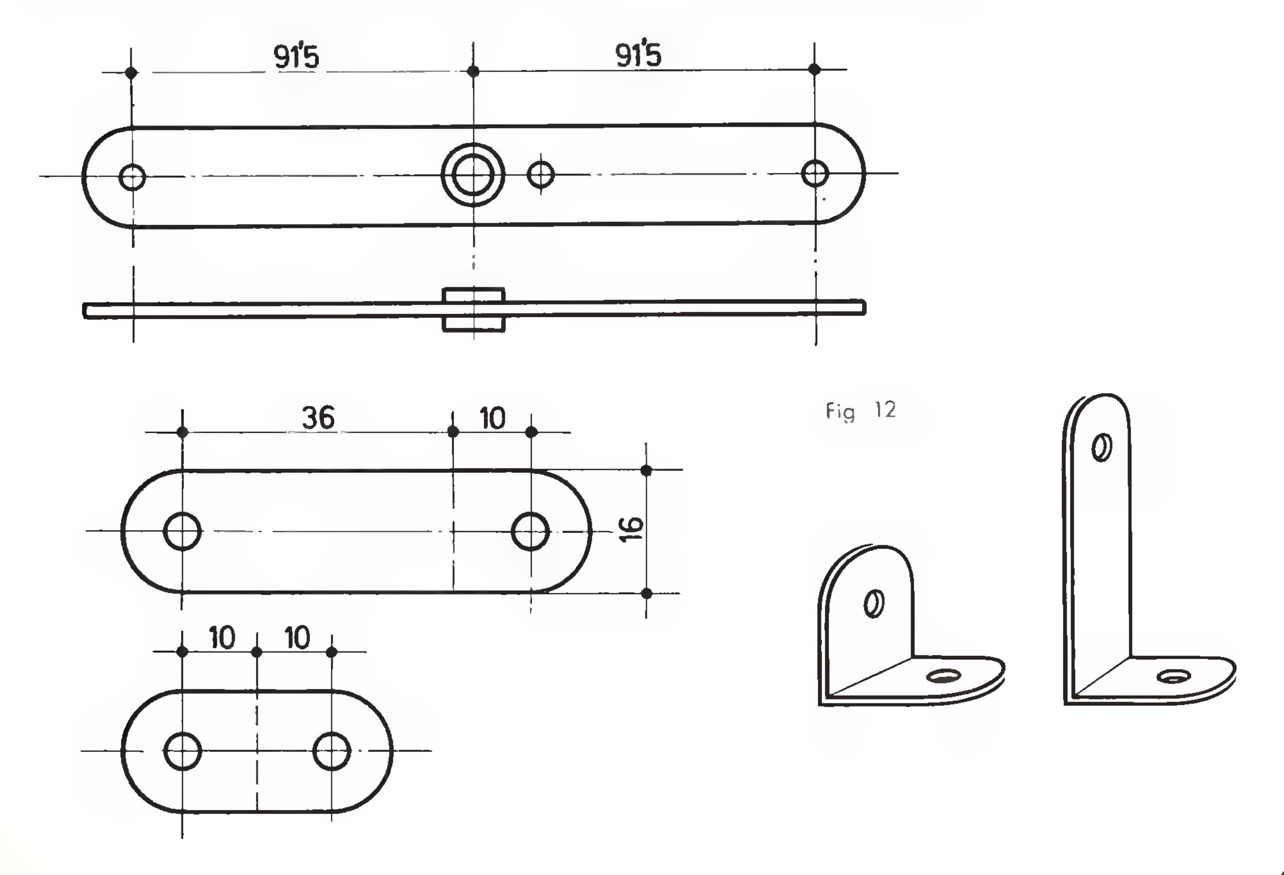


Figura 13

En esta última figura representamos el conjunto de nuestro montaje y en ella queremos destacar un detalle:

En el soporte del eje que señalamos con la letra *c* se aprecia la situación de una de las escobillas, a través de las cuales penetra la corriente de excitación en las bobinas del inductor. Se comprende que la otra escobilla está colocada en la cara opuesta del alternador, no visible en nuestro dibujo.

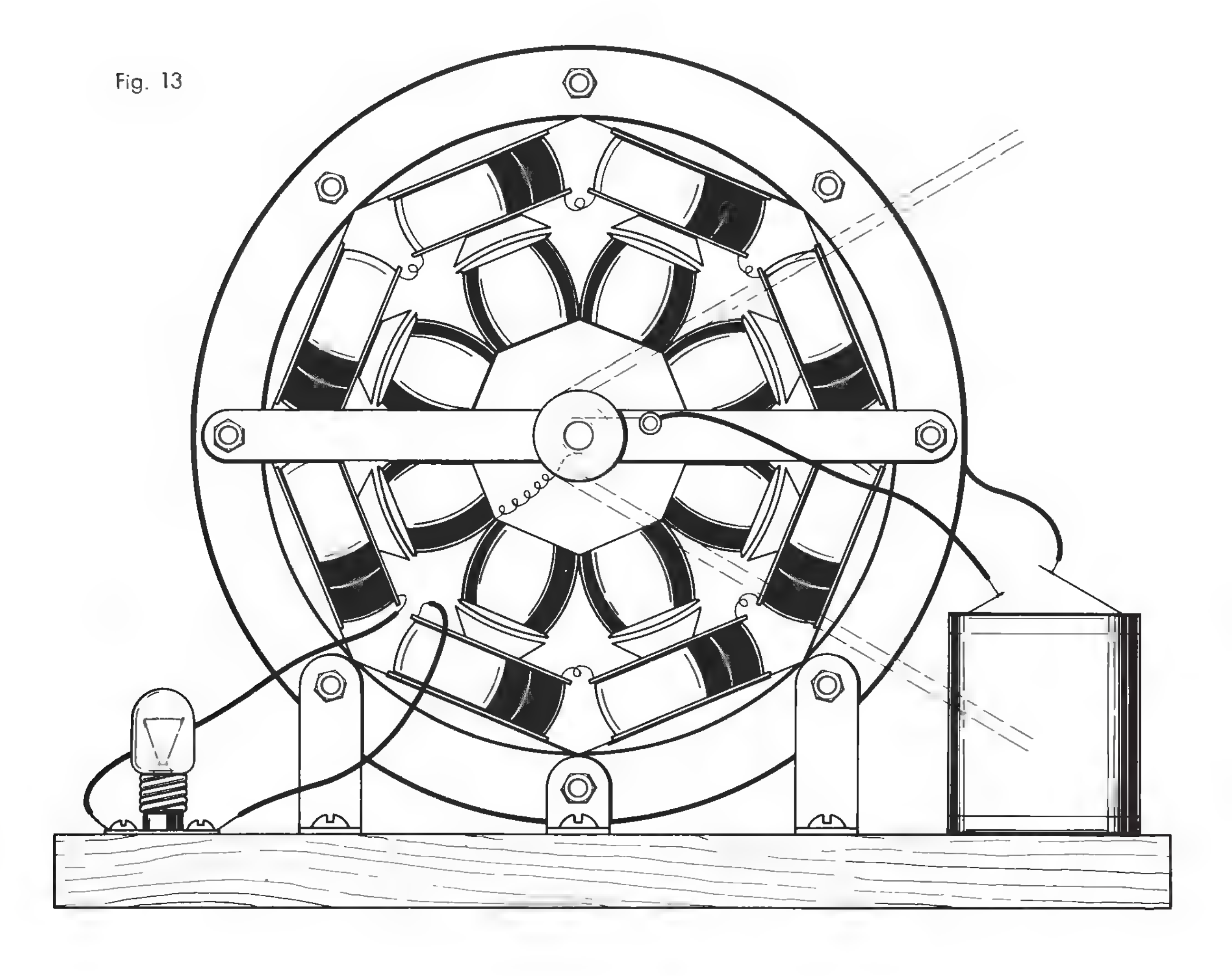
Las escobillas, por supuesto, deben estar completamente aisladas de cualquier punto conductor, lo que podemos conseguir con cinta aislante o con cualquier tipo de cinta adhesiva. Sobre la cabeza de cada escobilla soldaremos un extremo del conductor, que luego deberá conectarse a uno de los bornes de la pila.

Las escobillas estarán cortadas de una pila de latón, que muy bien puede ser un terminal de pila ya inservible.

Sólo nos resta hacer que el inductor gire a una velocidad mínima aproximada de 750 r.p.m. para que en los bornes del inducido aparezca una corriente alterna fácilmente perceptible con un instrumento de medida o, más fácilmente aún, conectando a los bornes del alternador una bombilla de 0'5 A.

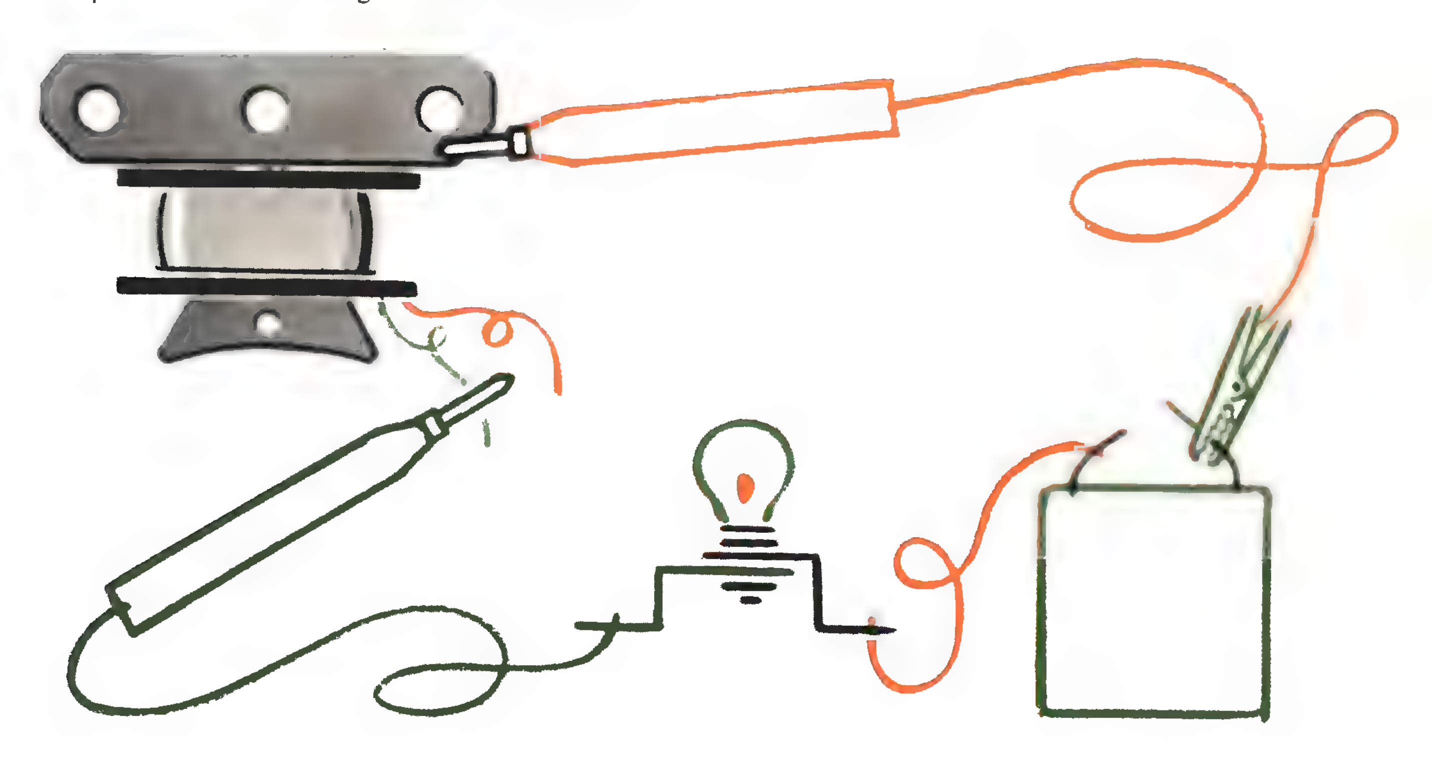
Repetimos que la tensión que pueda suministrar esta máquina depende fundamentalmente de la intensidad del campo magnético creado por el inductor.

Como motor podemos utilizar, por ejemplo, una máquina de coser o, mucho mejor, un pequeño motor eléctrico que funcione con pilas.


Fig. 13

ADVERTENCIA MUY IMPORTANTE

Antes de dar por buena cualquiera de las bobinas que debe devanar en este alternador, debe asegurarse de que entre ellas y el hierro no exista ningún contacto eléctrico. Las bobinas deben quedar completamente aisladas de la masa. Para comprobar que es así, puede realizar la experiencia que ilustra el último gráfico de esta lección. Si la bombilla se enciende, resultará evidente que la corriente pasa a través de la bobina hacia la masa que la soporta. En este caso deberá deshacer el devanado, asegurarse de que el aislamiento que rodea el núcleo de hierro está en perfecto estado y proceder al devanado de una nueva bobina.



ELECTRICIDAD

Motores de c. a.
Estudio teórico
Sus distintos tipos
Sistemas de arranque
Instalación de motores eléctricos



LECCION Nº 20

electrotecnia 20

La teoría del campo magnético rotatorio. Los distintos tipos de motores de c. a. Estudio descriptivo. Cuadro de averías. Instalación de motores.



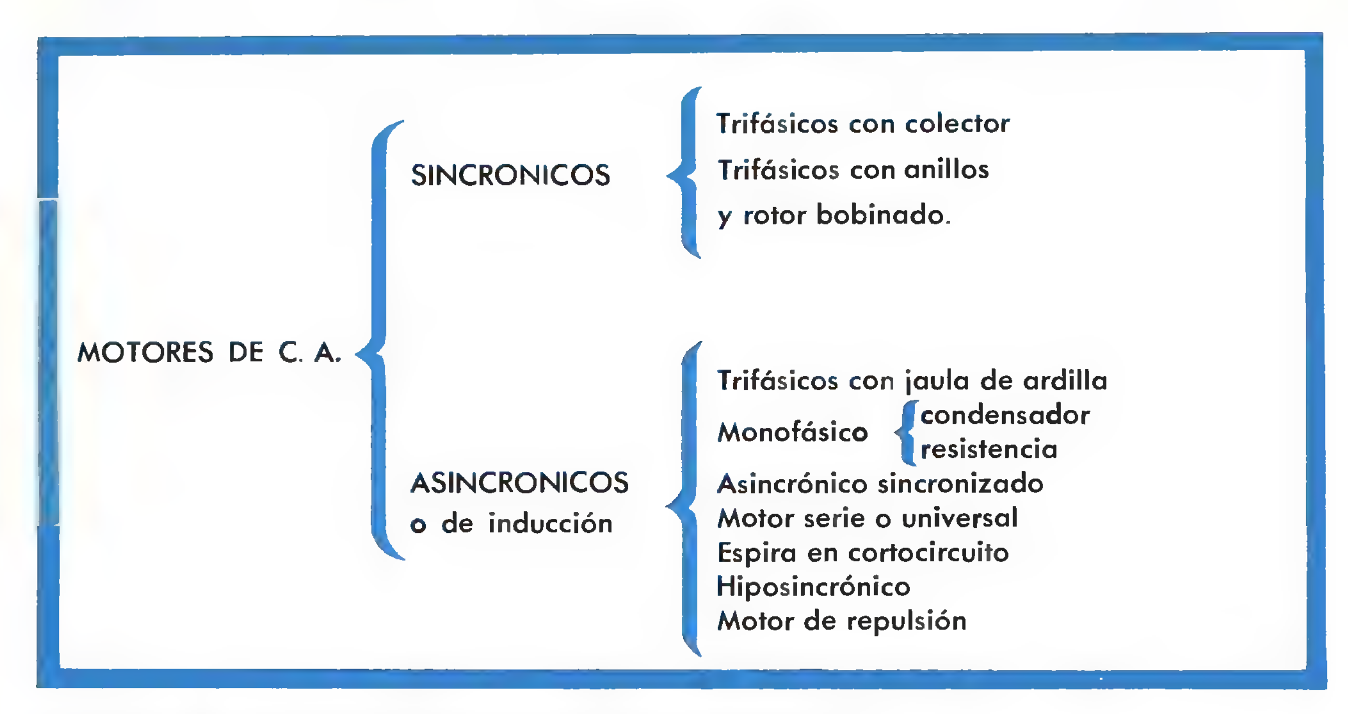
MOTORES DE C. A. - CLASIFICACION

En la misma medida en que la industria ha adoptado la corriente alterna como fuente de energía, ha sido necesario construir motores que puedan utilizar esta corriente alterna sin necesidad de valerse de un paso conversor que la transforme en corriente continua; y también sin necesidad de alterar su frecuencia o tensión cuando esta última esté dentro de unos valores prácticamente aceptables.

Los electromotores de c.a., pues, son aquellos que transforman en energía mecánica la energía eléctrica que absorben de una red de corriente alterna.

Los motores de c.a. pueden clasificarse atendiendo a diversas características: a su velocidad de rotación en relación con la velocidad correspondiente a la frecuencia de la red (recuerde el concepto de sincronismo), al número de fases, a su utilidad específica, a su sistema de ventilación, etc.

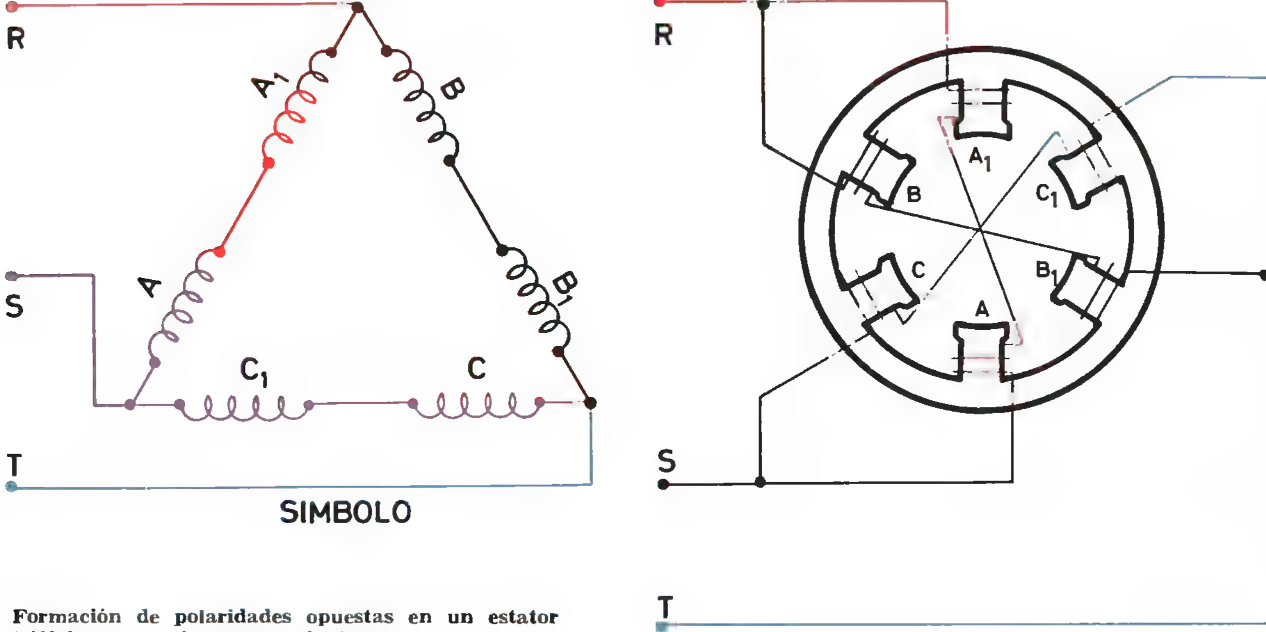
En el cuadro sinóptico que damos a continuación resumimos los tipos de motores de c.a. más utilizados.



TEORIA DEL CAMPO MAGNETICO ROTATORIO

Si a una red trifásica R, S, T, conectamos un bobinado estatórico trifásico siguiendo una conexión en triángulo (escogemos un estator de polos salientes) y bobinamos todos los polos siguiendo el mismo sentido, las polaridades serán distintas en cada par de polos diametralmente opuestos.

Hemos adoptado una conexión en triángulo; pero advertimos que lo que sigue es igualmente válido para una conexión en estrella.

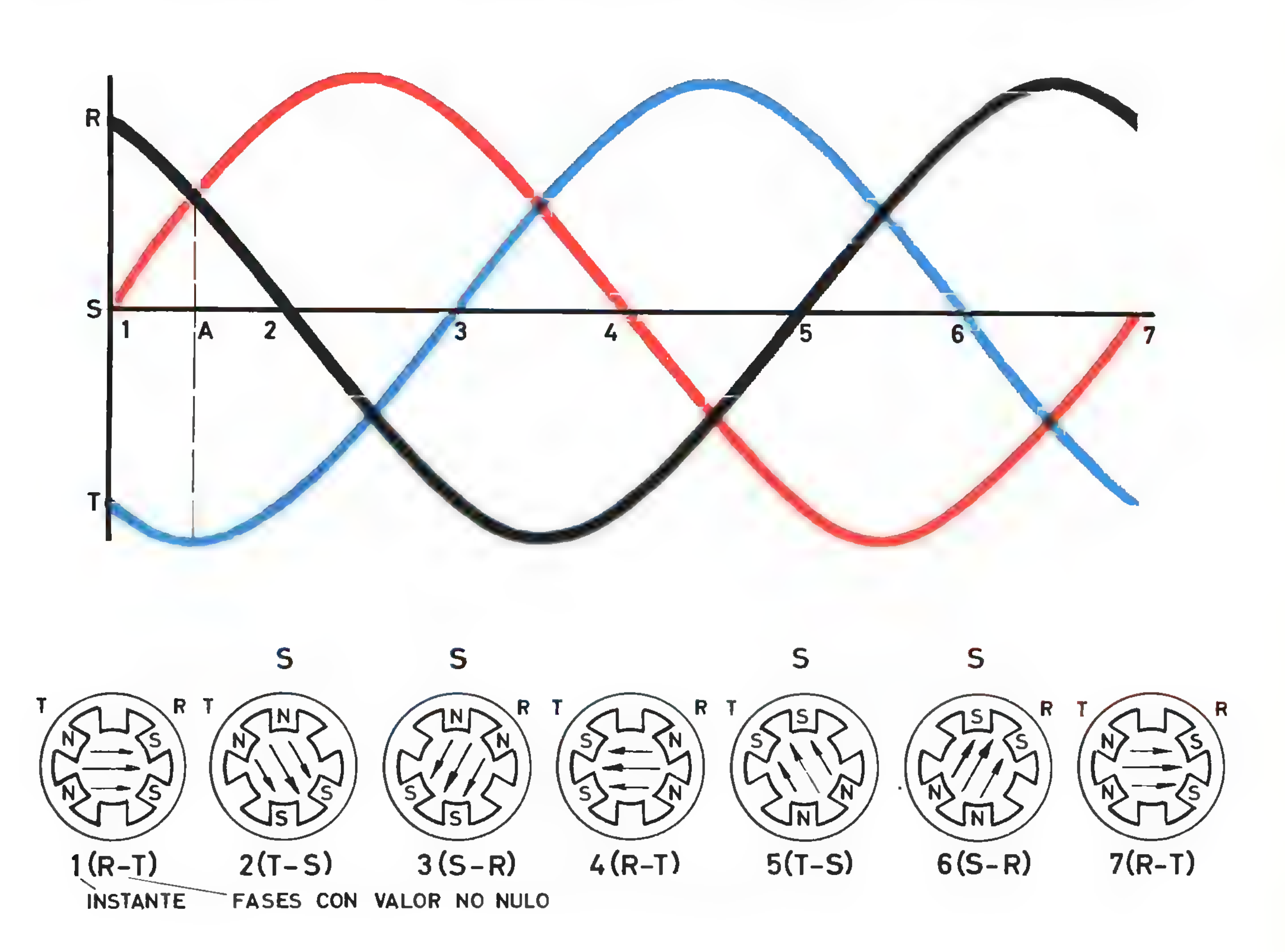


Formación de polaridades opuestas en un estator trifásico con seis polos salientes.

Hecho este planteo, aparece evidente una cosa: que la intensidad del campo de cada una de las bobinas depende en todo momento de la corriente que circula por ella y, en consecuencia, por la fase que le corresponde. El campo de cada bobina aumenta y disminuye siguiendo las fluctuaciones de la curva (que vamos a suponer perfectamente senoidal) de la corriente que circula por su fase.

Ahora bien; puesto que las corrientes de una línea trifásica están defasadas 120° entre sí, es natural que los campos magnéticos de las bobinas actúen con un defase también de 120°. La acción simultánea de las corrientes de cada fase al actuar sobre las bobinas produce un campo magnético giratorio.

Es lo que ilustramos en el gráfico inmediato, al que debe prestar ahora toda su atención.



En la gráfica de la corriente trifásica que alimenta los polos del estator que nos ocupa, hemos indicado siete momentos sobre el eje de tiempos. Observe ahora que en el instante 1 la fase R tiene igual valor, pero sentido contrario, que la fase T; la corriente circula por ellas en sentido contrario y crea polaridades distintas en los polos afectados por estas fases T y R. En el esquema del estator correspondiente al instante 1 puede verse la ausencia de polaridad en las bobinas conectadas a la fase S. En el instante 1 el flujo corre de izquierda a derecha.
En el instante 2 la fase R está en valor nulo y las fases S y T tienen valores iguales y de signo contrario. Por las mismas razones expuestas en el instante 1, el flujo habrá girado 60°. Creemos que, siguiendo el mismo razonamiento, comprenderá que gracias a una corriente alterna trifásica pueda crearse un campo magnético giratorio en el estator trifásico que hemos tomado como ejemplo. En cada instante considerado, el campo magnético gira 60°.
En los instantes intermedios ocurre lo mismo. Por ejemplo: en el instante A la fase T alcanza su máxima intensidad negativa; pero R y S tienen el mismo valor positivo (mitad del valor absoluto de T) y el resultado es un giro de 30° del campo centrado en los polos de la fase T.

La velocidad de giro del campo depende de la frecuencia de la corriente alterna empleada. Para una frecuencia de 50 Hz (frecuencia industrial en Europa) la velocidad de giro es de 3000 r.p.m. ¿Por qué esta velocidad?... Es muy sencillo:

Para una frecuencia f = 50 c/seg, cada ciclo (desde el instante 1 al instante 7) se produce en el tiempo de 1/50 seg. Y como en un ciclo se produce una vuelta del campo giratorio, la velocidad de giro del mismo, dada en r.p.m., será:

$$\text{r.p.m.} = 50 \times 60 = 3000$$

Es así, por cuanto es lo mismo decir que el campo da una vuelta cada 1/50 de segundo, que decir que da 50 vueltas por segundo.

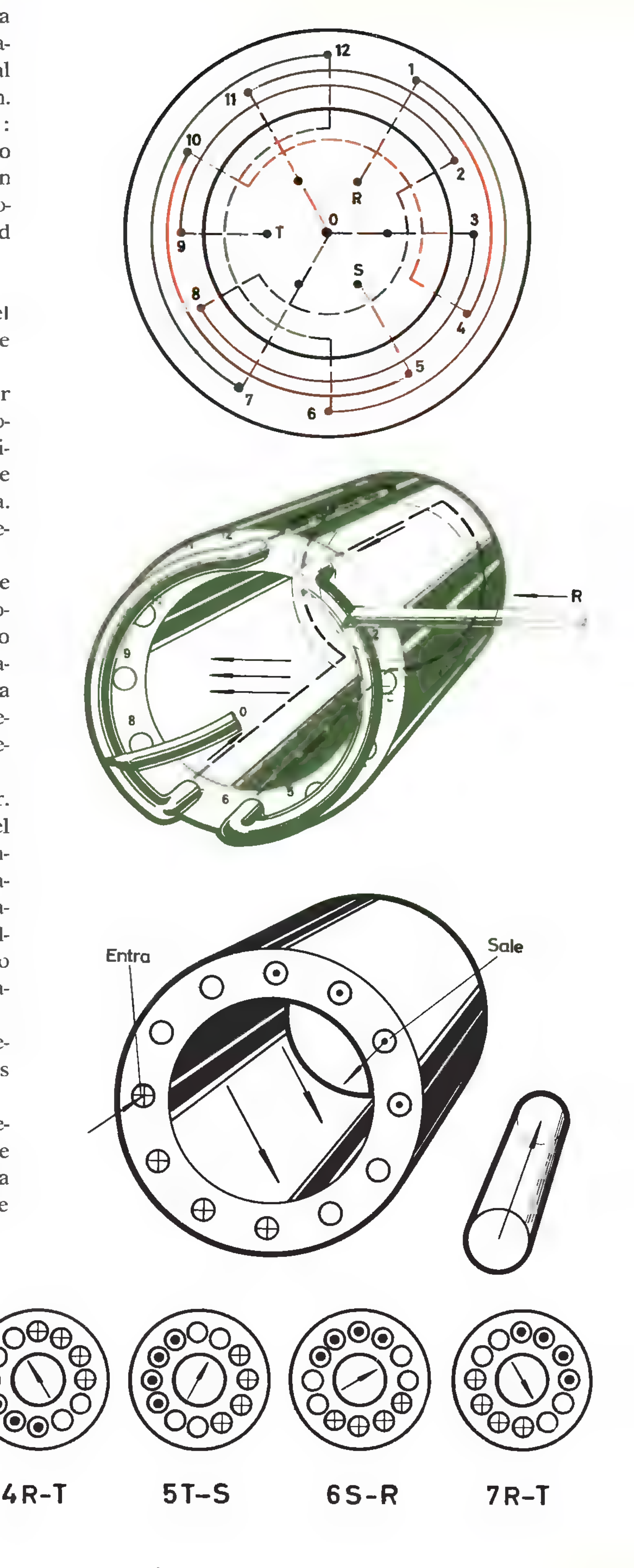
Veamos otra representación del mismo estator trifásico bipolar (en cada instante tiene una polaridad positiva y otra negativa) por el conocido sistema del dibujo frontal de las cabezas de las bobinas, que ahora conectaremos en estrella. El estator tiene doce ranuras, que hemos numerado para mayor claridad.

Vea ahora la representación de la bobina de una fase con la indicación del sentido de la corriente en un instante dado; sentido que, como puede apreciar es el mismo para ambos arrollamientos, los que se refuerzan mutuamente para crear un campo magnético que irá dirigido según indican las flechas centrales. Recuerde la regla del sacacorchos.

Aún otra representación del mismo estator. Esta vez empleamos un simbolismo que indica el sentido de la corriente que circula por los conductores alojados en las ranuras. Cuando la ranura está señalada con una cruz, es signo indicativo de que la corriente *penetra* en el papel (valga la frase). Cuando la ranura lleva un punto central, representa que la corriente *sale* del papel.

El instante considerado es el 1. En la representación se ha prescindido de las cabezas de las bobinas y de la conexión de las mismas.

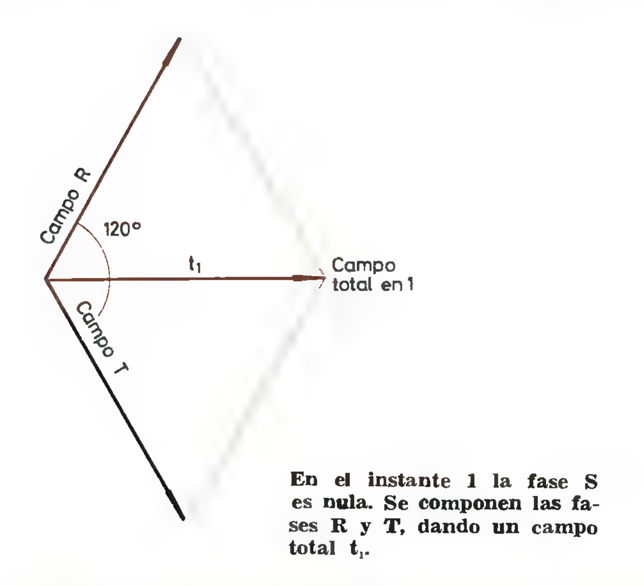
Para cada instante considerado, el campo resultante tiene un sentido que indica la flecha de los gráficos, cuya posición varía 60° para cada una de las posiciones separadas entre sí por 1/6 de período (360 : 6 = 60°).



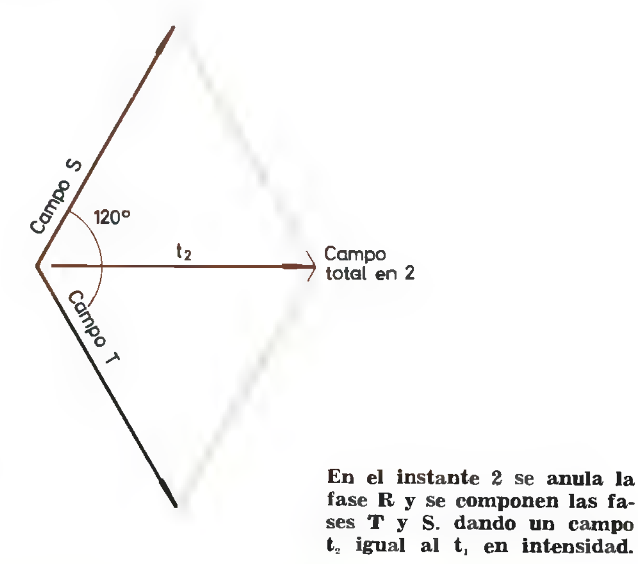
El campo magnético giratorio, insistimos en ello, es el resultado de la suma vectorial de los tres arrollamientos conectados a las tres fases, suma que nos demuestra que su intensidad permanece constante para cada instante que se considere.

Sabiendo que las intensidades de cada campo son proporcionales a la amplitud de la corriente de la fase que los crea y que la diferencia de fase es de 120°, tendremos lo siguiente para el instante 1 y el instante 2:

Lo mismo encontraríamos en los otros instantes: se componen siempre dos vectores defasados 120°, dando un campo total de intensidad constante.



En el instante 1 la fase S es nula. Se componen las fases R y T, dando un campo total t_1.

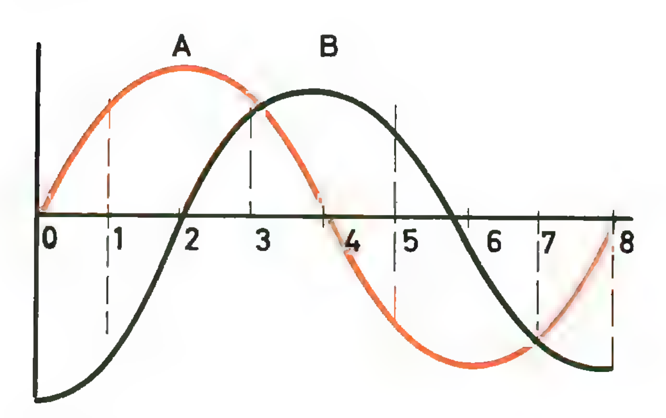


En el instante 2 se anula la fase R y se componen las fases T y S, dando un campo t_2 igual al t_1 en intensidad.

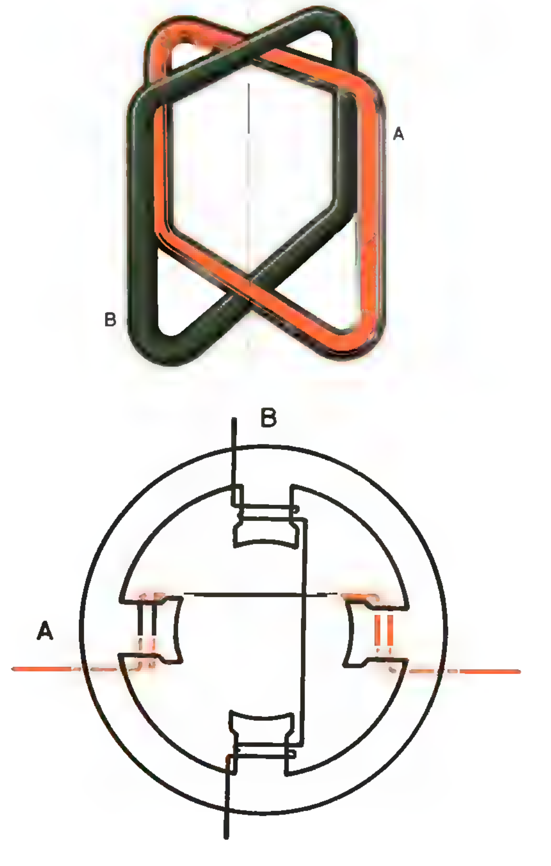
CAMPO MAGNETICO GIRATORIO PRODUCIDO POR DOS CORRIENTES DEFASADAS 90.°

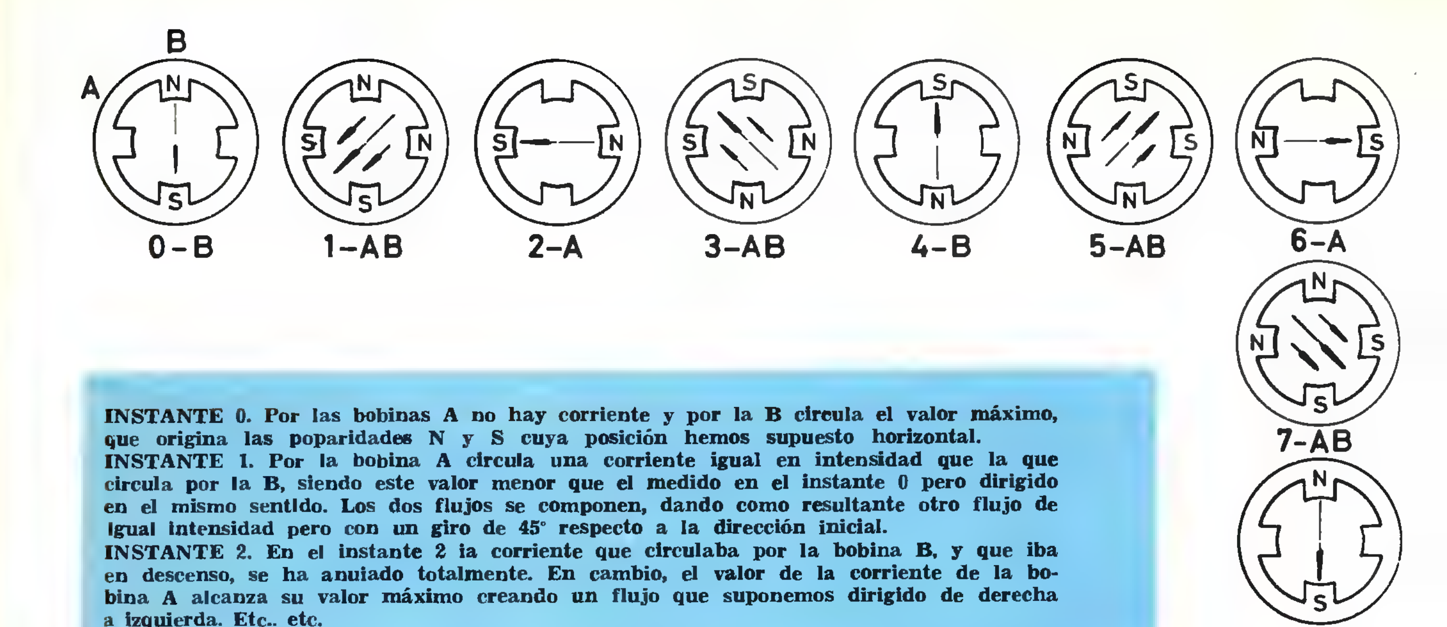
Estudiemos ahora (siguiendo esta fase previa al conocimiento de los motores de c.a.) el campo giratorio que producen las corrientes defasadas 90°.

Supongamos dos bobinas colocadas de tal forma que las separe un ángulo de 90°, bobinas que alimentamos con dos corrientes A y B defasadas a 90°.



Corrientes A y B, defasadas 90°, con las que alimentamos respectivamente la bobina A y la bobina B.



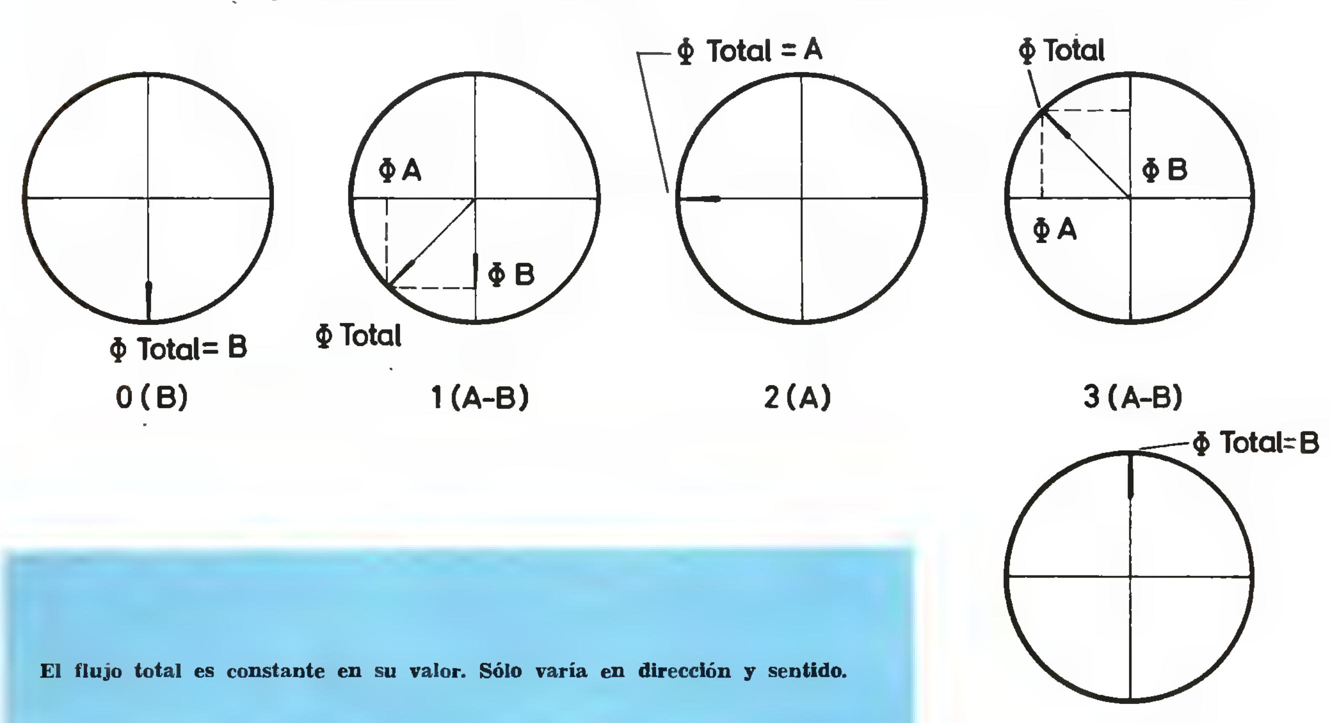


INSTANTE 0. Por las bobinas A no hay corriente y por la B circula el valor máximo, que origina las poparidades N y S cuya posición hemos supuesto horizontal.
INSTANTE 1. Por la bobina A circula una corriente igual en intensidad que la que circula por la B, siendo este valor menor que el medido en el instante 0 pero dirigido en el mismo sentido. Los dos flujos se componen, dando como resultante otro flujo de igual intensidad pero con un giro de 45° respecto a la dirección inicial.
INSTANTE 2. En el instante 2 la corriente que circulaba por la bobina B, y que iba en descenso, se ha anulado totalmente. En cambio, el valor de la corriente de la bobina A alcanza su valor máximo creando un flujo que suponemos dirigido de derecha a izquierda. Etc.. etc.

Es evidente que el flujo creado por cada una de las dos bobinas varía tanto en dirección como en intensidad, de acuerdo con las variaciones de la corriente que las alimenta. También en este caso obtendremos un campo magnético giratorio, cuyas variaciones quedan explícitas en la serie de gráficos que corresponden a los ocho instantes señalados en el eje de tiempo de la gráfica de las dos corrientes.

Observando la gráfica de las corrientes, es fácil deducir que en cada uno de los instantes considerados el campo magnético ha experimentado un giro de 45°. En el instante 8, en que se ha completado un ciclo, estamos de nuevo en la posición inicial.

También en este caso la intensidad del flujo total permanece constante. Sólo varía su dirección, según se desprende de las composiciones siguientes, que corresponden a un semiperíodo; lo mismo ocurrirá en el semiperíodo siguiente.



El flujo total es constante en su valor. Sólo varía en dirección y sentido.

EL MOTOR SINCRONICO

El motor sincrónico está basado en la reversibilidad del alternador.

Cuando una aguja imantada pueda girar libremente en un campo magnético giratorio, ¿qué ocurrirá?

Es evidente que el campo interior de la aguja se orientará de acuerdo con la polaridad que adopte en cada momento el campo giratorio en que se halla inmersa. Siempre, el polo S de la aguja se enfrentará al polo N cambiable de posición, del campo giratorio. Y para ello, qué duda cabe, la aguja deberá seguir el giro del campo con la misma velocidad de giro con que se produzca el desplazamiento angular del campo. Hay, pues, un perfecto sincronismo entre la velocidad de giro del campo y el giro del rotor (la aguja en nuestro caso). Por ello, los motores que se fundamentan en este principio reciben el nombre genérico de MOTORES SINCRÓNICOS.

Ahora bien; puesto que la aguja tiene una inercia que por definición se opondrá a su movimiento, resulta, que para que se establezca el sincronismo deseado, antes de que empiece a actuar el campo giratorio la aguja deberá girar ya a una velocidad muy próxima a la de sincronismo.

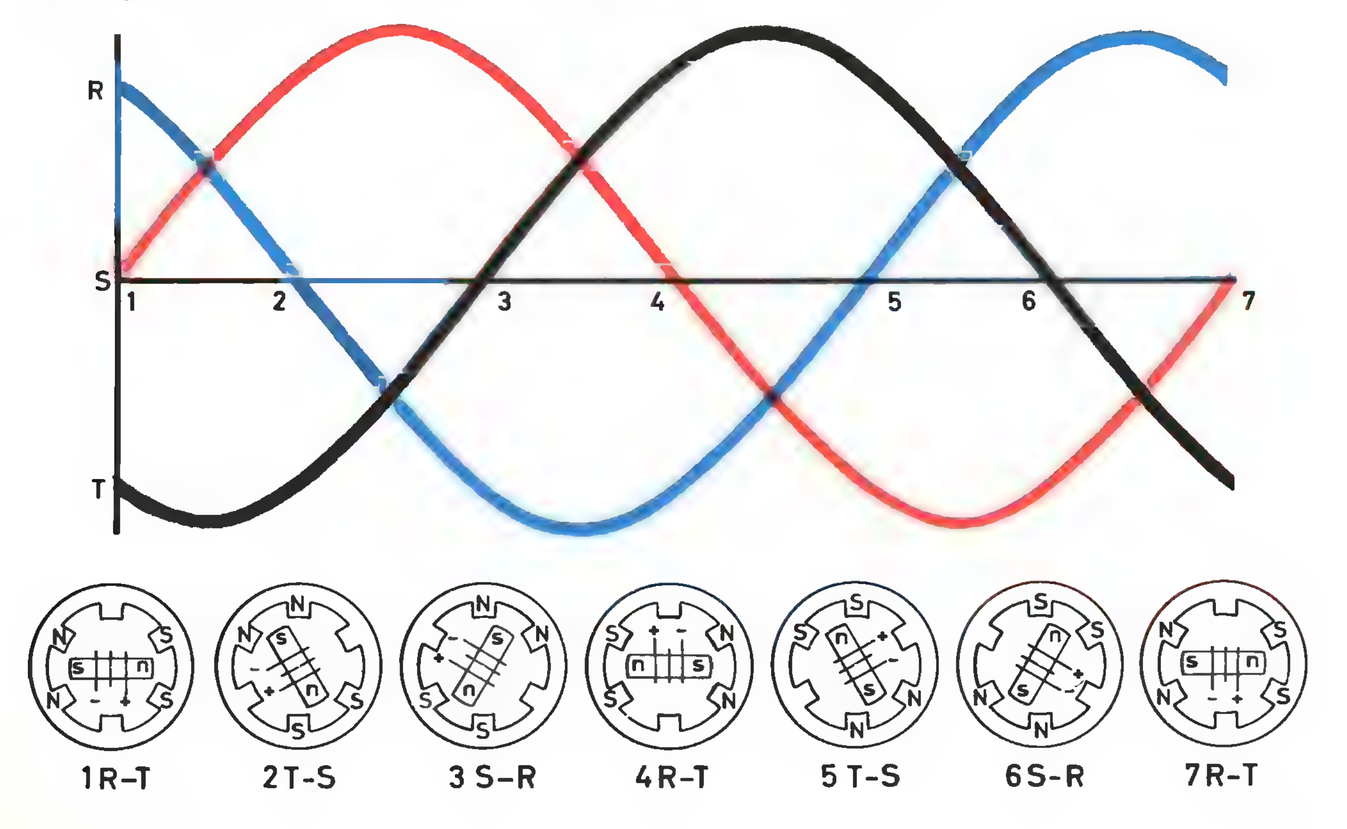
Acojámonos otra vez a nuestro gráfico comparativo entre las fluctuaciones de una corriente trifásica y el desplazamiento circular de la polaridad. En este gráfico hemos reemplazado la supuesta aguja imantada por un electroimán de c.c.

En cada uno de los instantes considerados de un período completo el electroimán se orienta de acuerdo con la polaridad que en cada uno de estos instantes adquiere el campo.

Si el estator que venimos tomando como ejemplo (trifásico de doce ranuras) se alimenta con c.a. trifásica, creará un campo giratorio. Si al propio tiempo las bobinas del rotor reciben corriente continua y se hacen girar hasta que alcancen la velocidad sincrónica, de tal manera que se enfrenten simultáneamente polos de signo contrario, se producirán atracciones magnéticas que arrastrarán al rotor. La máquina se comportará como un motor.

Pero, observe bien que este rotor no podrá girar a velocidades superiores a la de sincronismo. Será un motor de velocidad constante, aunque varíe (dentro de ciertos límites, claro) la carga a él aplicada.

La velocidad de giro del campo (y la del rotor en consecuencia) depende del número de pares de polos *magnéticos* que tenga el motor y de la frecuencia de la corriente. El estator a que nos referimos produce un solo par de polos; y según vimos la velocidad de giro será de 3000 revoluciones por minuto.



Generalizando, podemos decir que en cada revolución del campo magnético se invierten tantos períodos de la corriente como pares de polos *magnéticos* tiene el motor. Por tanto:

$$n = 60 \frac{f}{p}$$

Siendo n = r.p.m.;
f = frecuencia de la corriente;
p = número pares de polos.

Resulta, pues, que la velocidad de sincronismo para f = 50 Hz depende sólo del número de pares de polos de la máquina:

VELOCIDAD DE SINCRONISMO EN R.P.M.

P	n en r. p. m.
1	3.000
2	1.500
3	1.000
4	750
5	600
6	500

SISTEMAS DE ARRANQUE

Existen diversos sistemas para el arranque de los motores sincrónicos, operación que consiste en llevar el rotor a velocidad de sincronismo. Estos diversos sistemas pueden resumirse en dos: con un motor auxiliar acoplado, generalmente, al eje del motor sincrónico, o bien por medio de un devanado auxiliar practicado en el mismo rotor.

Para el primer sistema se utiliza, por lo común, un motor asincrónico de rotor bobinado y anillos rozantes con un par de polos menos que el motor sincrónico, lo que le capacita para alcanzar mayor velocidad. Este motor auxiliar queda conectado a la red a través de un reóstato especial, que regula la velocidad del conjunto hasta que se alcanza el valor deseado.

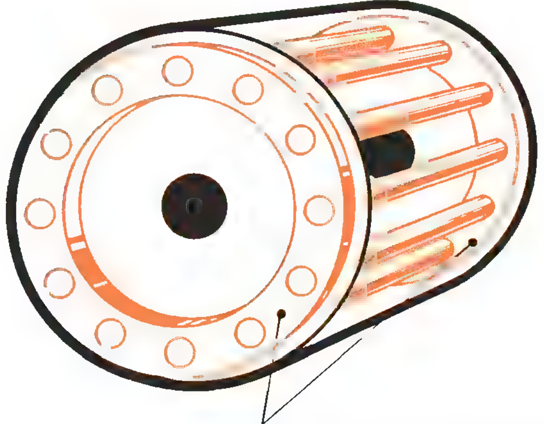
El segundo procedimiento consiste en disponer en el rotor unos conductores de cobre alojados en oportunas ranuras, paralelas al eje, remachadas y cortocircuitadas por sus extremos mediante unos anillos dispuestos a ambos lados del rotor.

El campo giratorio del estator corta estos conductores y origina en ellos corrientes inducidas que, por su acción mutua con el campo giratorio, hacen que el rotor empiece a girar con velocidad creciente, hasta llegar a valores muy próximos a los de la velocidad de sincronismo.

Trataremos con más detalle de esta cuestión cuando estudiemos el motor asincrónico.

Hasta aquí, téngalo en cuenta, el rotor ha permanecido desconectado de la fuente de c.c.

Para evitar una corriente excesiva en el estator durante el período de arranque es necesario contar con un transformador llamado transformador de arranque) que reduzca la tensión aplicada a un 30 ó 40 % de su valor nominal. No se aplicará toda la tensión hasta que se haya alcanzado la velocidad de sincronismo.



Los conductores de arranque forman a modo de una jaula.

Para proteger el bobinado del rotor durante el período de arranque se hace necesario conectar una resistencia de descarga, que se eliminará una vez se le conecte la corriente de excitación para las bobinas.

Esta resistencia de descarga es necesaria porque durante el arranque, y por causa de la variación del flujo a que se ven sometidos los arrollamientos rotóricos, se inducen en éstos unas tensiones superiores a las que deberán soportar por la excitación con corriente continua. Es lógico que sin la resistencia de descarga peligrarían los aislamientos.

Una vez alcanzada la velocidad de sincronismo, o un valor aproximado, puede aplicarse toda la tensión de línea a las bobinas del estator sin miedo a que la corriente alcance valores excesivos. El rotor en movimiento se encarga de generar una fuerza contraelectromotriz que lo impide.

Pasado el período de arranque, se elimina también la resistencia de descarga del rotor, ya que una vez gire sincrónicamente con la velocidad de giro del campo inductor deja de existir la variación del flujo que inducía corrientes peligrosas en los bobinados del inducido (rotor). Dicho de otra forma: las líneas de fuerza del campo inductor giratorio sólo son cortadas por las bobinas del inducido cuando éstas llevan una velocidad distinta.

En el momento de desconectar la resistencia de descarga empieza a actuar la c.c. que excita las bobinas del rotor, la cual, como en el caso de los alternadores, suministra una dínamo excitatriz. Seguidamente se acopla la carga exterior al motor. Se establece la oportuna transmisión por medio de acoplamientos.

Para detener la marcha de un motor sincrónico debe eliminarse primero la carga y luego accionar el reóstato que lleva en serie el motor hasta conseguir que el estator absorba la misma corriente de la red de alimentación. Realizadas estas operaciones se desconecta el interruptor de la red; el motor va perdiendo velocidad, hasta su total detención.

Los motores sincrónicos, como puede comprenderse después de lo que llevamos dicho, no ofrecen demasiadas ventajas. Por ello, el uso que la industria hace de ellos es escaso. Su incapacidad para arrancar con carga, la necesidad de una dínamo excitatriz, su velocidad única, la necesidad de una instalación complicada y las pocas cargas que admiten, son factores que explican su limitado campo de utilización.

VENTAJAS DE LOS MOTORES SINCRONICOS

Sin embargo, los motores sincrónicos ofrecen algunas ventajas que justifican su adopción en ocasiones determinadas. Una de estas ventajas está en el hecho de que cambiando la excitación de las bobinas del rotor se consigue que la corriente alterna que circula por las bobinas del estator cambie el ángulo de defase que tiene con respecto a la tensión alterna aplicada al motor.

Sabemos que el inducido crea una f.e.m. que, lógicamente, aumenta al aumentar la corriente continua de excitación; y siempre que aumenta la f.c.e.m. disminuye el ángulo φ.

De esta manera se puede conseguir que el motor llegue a dar un elevado rendimiento con un factor de potencia $\cos \varphi = 1$. Ello, claro, con un consumo mínimo en el estator.

Suponga que una vez alcanzado el $\cos \varphi = 1$ seguimos aumentando la corriente de excitación; automáticamente aumenta la corriente del estator disminuyendo el $\cos \varphi$, pero ahora el defase está adelantado con respecto a la tensión de la red. Es decir: el motor produce sobre la red el mismo efecto que un condensador o batería de condensadores. El aprovechamiento de esta propiedad constituye la mayor ventaja del motor sincrónico.

Para hacer que un motor sincrónico actúe como corrector de defasamiento (que es lo mismo que decir que actúa como generador de energía reactiva) de toda una instalación industrial en la que abunden los circuitos inductivos, se le hace trabajar sobreexcitado, girando en vacío o moviendo una máquina de velocidad y carga constantes. El avance de corriente que produce el motor sincrónico compensa total o parcialmente el retraso que determinan los motores asincrónicos, mejorando con ello el factor de potencia general de la instalación.

MOTORES ASINCRONICOS O DE INDUCCION

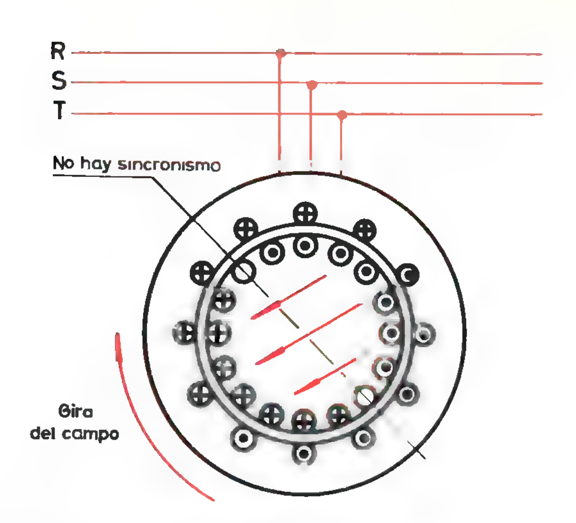
Empezamos el estudio de los motores de mayor utilidad en el campo industrial: los motores asincrónicos, llamados también de inducción en atención al propio principio físico de su funcionamiento, que es éste:

Sabemos que se produce un campo magnético giratorio cuando al estator o inductor se le aplica una corriente alterna. Este campo, de acuerdo con las leyes de la inducción electromagnética, induce corrientes en las bobinas del rotor, corrientes que crean otro campo magnético, que según la ley de Lenz es opuesto al campo inductor y que, por lo mismo, tiende a seguirlo en su rotación.

Consecuencia de esto es que el rotor empiece a girar con tendencia a igualar la velocidad del campo rotatorio. Sin embargo, en el motor asincrónico no es posible esta igualdad en las velocidades de giro del rotor y del campo inductor. Si se llegase al sincronismo, dejaría de existir la variación del flujo indispensable para la inducción de corrientes en las bobinas del inducido.

El rotor, como acabamos de decir, tiende a alcanzar la velocidad de sincronismo, y a medida

que se acerca a ella disminuye el valor de la inducción; el motor pierde velocidad. Pero a medida que la velocidad disminuye aumenta la inducción, aumenta el campo y sube de nuevo la velocidad. Es decir: a medida que vaya haciéndose mayor la diferencia entre la velocidad de giro del campo y la del rotor, las corrientes inducidas en él, y por tanto su propio campo, irán en aumento. Gracias a la composición de ambos campos, se alcanza una velocidad estacionaria.



En los motores asincrónicos nunca se alcanza la velocidad de sincronismo. Los devanados del rotor cortan siempre el flujo giratorio del campo inductor.

EFECTOS DE LA CARGA SOBRE LOS MOTORES ASINCRONICOS

Es evidente y lógico que todo aumento de carga que apliquemos al motor (con ello le obligamos a un mayor esfuerzo) repercuta en una disminución de su velocidad. Se produce mayor retraso en la velocidad del rotor respecto al giro del campo. Deducimos inmediatamente que al aumentar la carga aumenta la intensidad de las corrientes inducidas en el rotor.

Pero, al mismo tiempo, también aumenta la intensidad de la línea y de las corrientes que circulan por el estator. Es así, por cuanto al aumentar el flujo creado por el rotor —que como sabemos se opone al flujo giratorio—, mayor es la tendencia a eliminarlo. Al disminuir por esta causa el flujo en el estator, disminuye la autoinducción y aumenta la intensidad.

Esta disminución del número de revoluciones por minuto que experimenta el rotor ante un aumento de carga se llama DESLIZAMIENTO O RESBALAMIENTO del rotor. Aun a plena carga, representa un pequeño porcentaje de la velocidad sincrónica (en r.p.m.), y en vacío llega a ser tan sólo de un 0'5 % de la misma.

La potencia que puede desarrollar un motor está en función de la intensidad que circula por las bobinas o barras (rotor de jaula) del rotor; intensidad que es, a su vez, función de la diferencia de velocidades entre el campo giratorio y el rotor. Y dado que para conseguir las intensidades necesarias a la potencia del motor la velocidad ha de variar muy poco, de ahí que a estos motores se les llame también de VELOCIDAD CONSTANTE. Tanto es así que en un motor de dos polos, por ejemplo, cuyo campo inductor gira a 3000 r.p.m. (f = 50 Hz), el rotor gira a 2950 r.p.m. en vacío y a plena carga lo hace a 2880 r.p.m. Evidentemente, la velocidad es prácticamente constante.

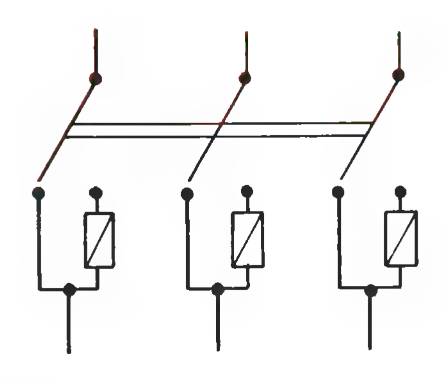
SISTEMAS DE ARRANQUE EN LOS MOTORES ASINCRONICOS

En el instante del arranque, los devanados de un motor trifásico se comportan como un transformador cuyo secundario se encontrase cortocircuitado. El rotor hace las veces de secundario, mientras que el estator actúa de primario.

La intensidad en el rotor (secundario) es muy elevada, lo cual, como hemos dicho, provoca una gran intensidad en el estator (primario).

Esta corriente que circula en el momento del arranque alcanza valores cinco a seis veces más elevados que el de la intensidad que consume el motor cuando alcanza la velocidad de régimen.

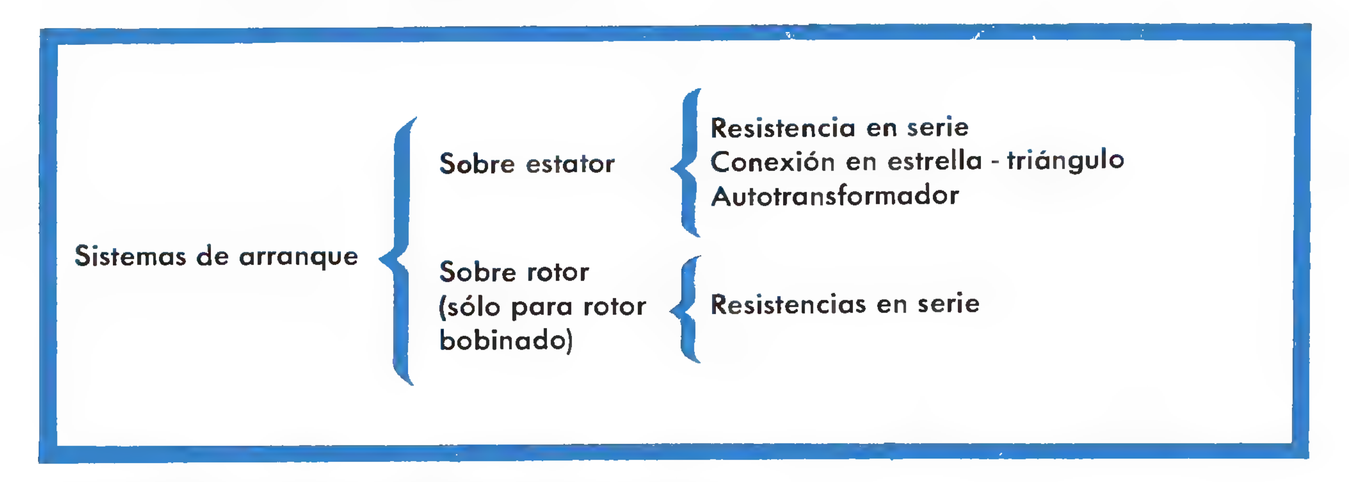
Así, pues, si los fusibles que lógicamente deben intercalarse en cada fase se calculan para pro-



Instalación de fusibles para un motor asincrónico trifásico. Posición de arranque.

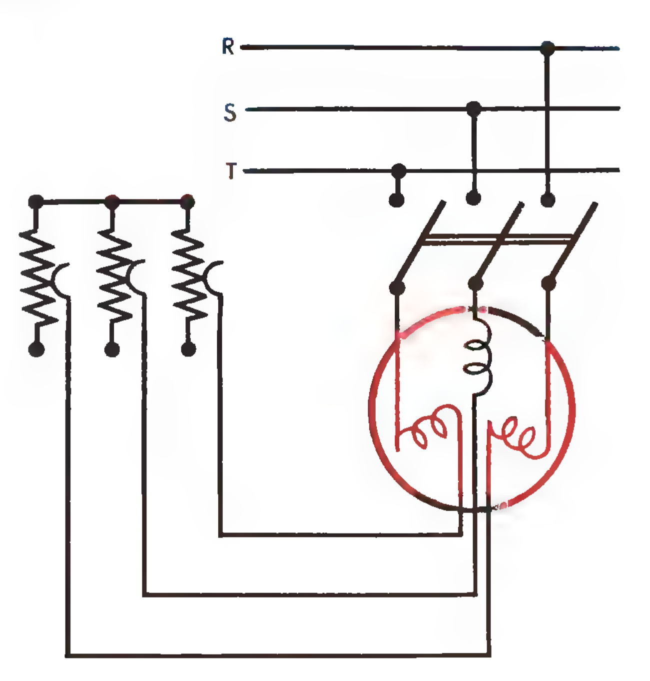
tejer al motor de una posible sobrecarga en trabajo, habrá que instalarlos de forma que durante el arranque queden desconectados de la red. Una vez el motor haya alcanzado su velocidad normal, se pasará la conexión a los fusibles.

El aumento de la corriente en el arranque de los motores trifásicos sólo es permisible para pequeños motores y no debe ser superior a tres veces la intensidad de rágimen. Los motores de mayor potencia requieren dispositivos especialmente destinados a mitigar la corriente de arranque. Los sistemas empleados pueden actuar sobre el estator o sobre el rotor; los podemos resumir en el siguiente cuadro:



ARRANQUE CON RESISTENCIAS EN SERIE

Se trata, simplemente, de conectar en serie una resistencia por fase, a fin de reducir la corriente de arranque. Estas resistencias serán variables para que pueda reducirse paulatinamente su valor, hasta eliminarlas totalmente cuando el motor haya alcanzado su velocidad de régimen.

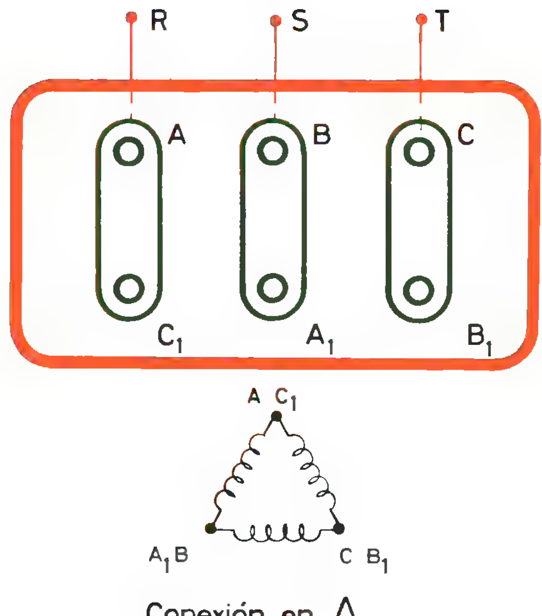


Arranque por resistencias en serie.

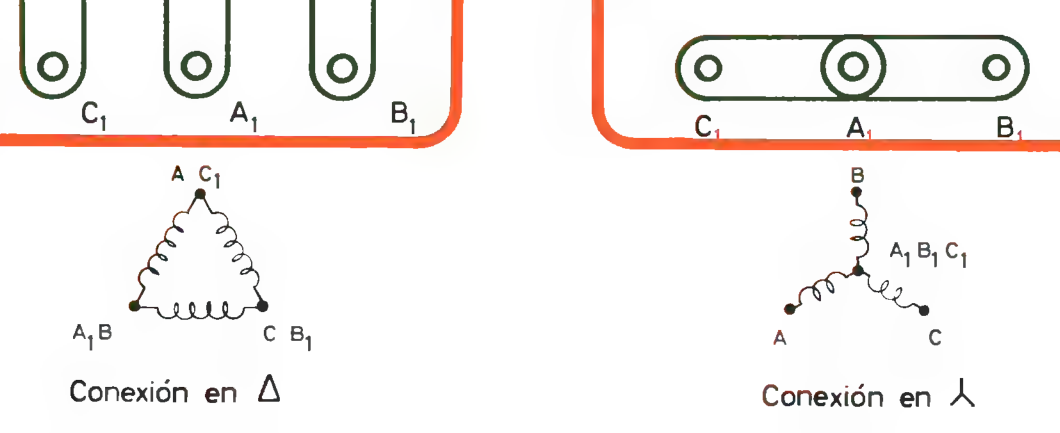
ARRANCADOR ESTRELLA TRIANGULO

Este sistema de arranque se utiliza para motores cuya potencia es superior a los 3 CV. Consiste en proveer al motor de un dispositivo externo que permita conexionar sus devanados en estrella o en triángulo, a voluntad del operador. El dispositivo no es más que un sistema de conmutación de tres posiciones: una posición estrella, otra posición triángulo y una tercera posición de desconexión o paro.

Este sistema de arranque es adecuado para los motores cuyos devanados están calculados para trabajar en triángulo. Cuando el motor trabaja en las condiciones de régimen, cada fase recibe toda la tensión de la línea. Pero si cambia-



Conexión en Δ



Conexión en ⅄

mos la conexión triangulo por la posición estrella, cada fase recibe, entonces, una tensión que es $\sqrt{3} = 1'73$ veces menor.

Por este sistema la corriente disminuye de 1'5 a 2 veces aproximadamente.

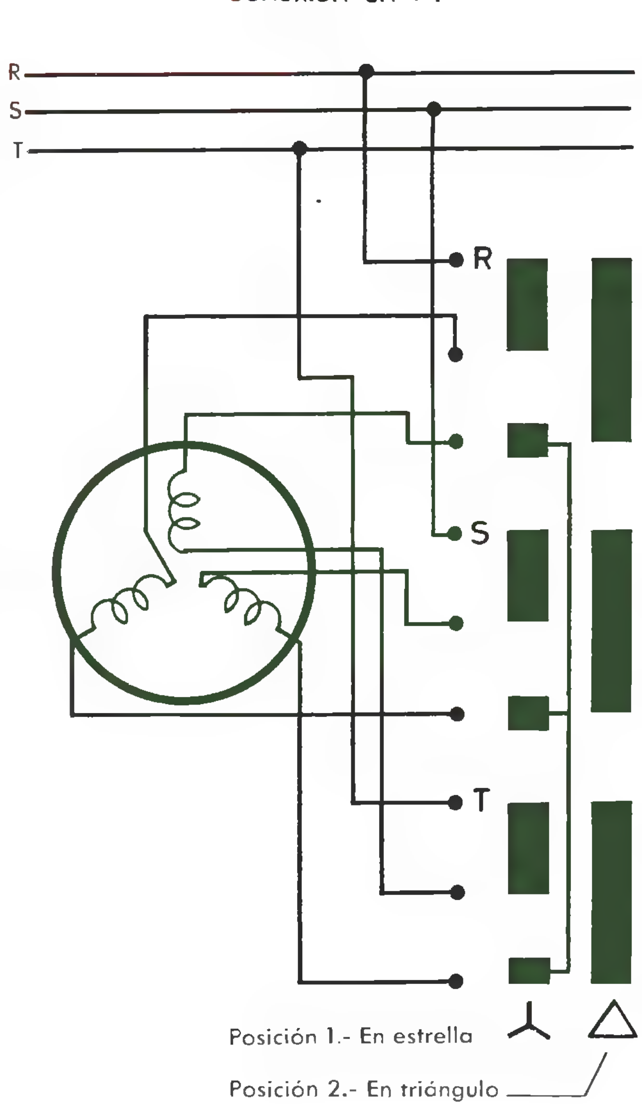
Este cambio de conexiones puede hacerse en la placa de bornes, cosa que ya sabemos, pero que repetimos aquí por entrar de lleno en el tema que tratamos.

Una disposición muy común para los bornes de un motor es la que aparece dibujada. Cada borne mantiene una misma separación con sus bornes contiguos situados en una misma vertical o sobre su horizontal. De esta manera pueden efectuarse las conexiones con unos puentes metálicos con dos orificios que guardan la misma separación que los bornes.

Con estas dos conexiones un mismo motor puede trabajar a dos tensiones distintas. Hay motores para 380-220 **V** y otros para 220-127 **V**, según se haya hecho el cálculo de sus bobinas.

Para conseguir el cambio de conexión de una manera inmediata se utilizan conmutadores especiales. Sobre este tema insistimos en el capítulo de INSTALACIONES de esta misma lección. Aquí nos limitamos a representar esquemáticamente un dispositivo del tipo combinador.

Según el esquema, para conseguir el arranque del motor se pone el combinador en posición *estrella* (posición 1). Se establecerán los contactos según las piezas conductoras correspondientes a la posición ⅄. Mantendremos esta posición unos instantes hasta alcanzar una velocidad próxima



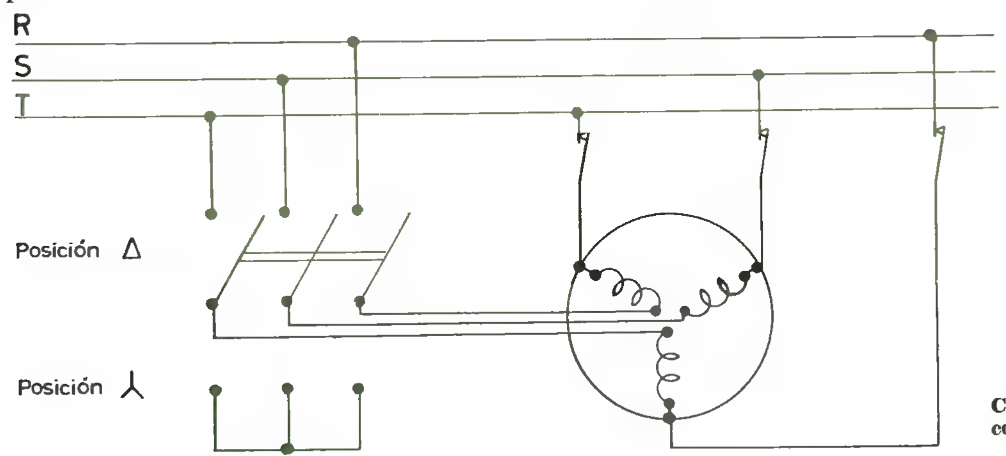
Posición 1.- En estrella

Posición 2.- En triángulo

a la de régimen. A partir de este momento podemos conmutar a la posición △ . De hacerlo demasiado pronto provocaríamos una súbita y exagerada elevación de la corriente. Una tercera posición desconecta las piezas conductoras de los extremos de la línea y bobina; es la posición de paro.

El cambio de conexiones ⅄ - △ también puede lograrse con un conmutador trifásico.

Puede observar que se han intercalado sendos interruptores entre cada fase y los devanados. De otra forma, las bobinas quedarían constantemente sometidas a la tensión de la red.



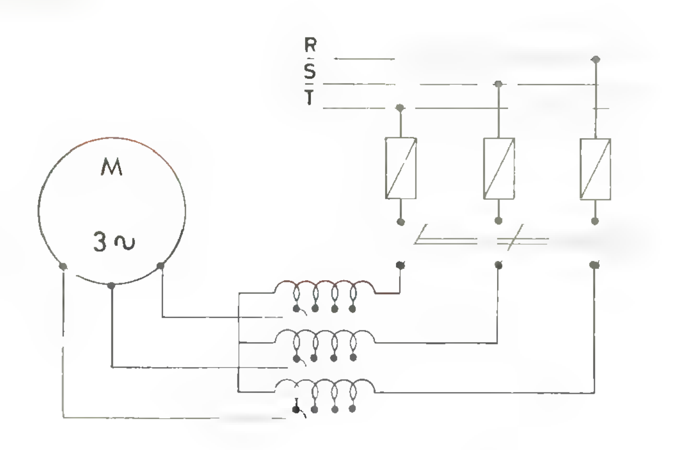
Conexión △ y ⅄ conseguidas con un conmutador trifásico.

ARRANQUE CON AUTOTRANSFORMADOR

Es un sistema que se utiliza para grandes motores, intercalando un autotransformador entre la red y la máquina.

El autotransformador tiene varias tomas, con lo cual es posible aumentar o disminuir la tensión de servicio. Basta con disponer de un cursor por fase. El motor recibirá mayor o menor tensión según la posición que ocupen estos cursores.

Al iniciarse el arranque, los cursores están en la posición extrema de menor tensión: un 60 % de la total. Desplazando los cursores hacia el otro extremo, la tensión aplicada al motor pasa a ser cada vez mayor, hasta alcanzar el 100 % de la tensión de la red.



Arranque con autotransformador.

ARRANQUE CON RESISTENCIAS EN SERIE CON EL ROTOR

Se trata de un sistema que sólo es apto para conseguir el arranque en motores de rotor bobinado, dispuesto en estrella o en triángulo, como el estator.

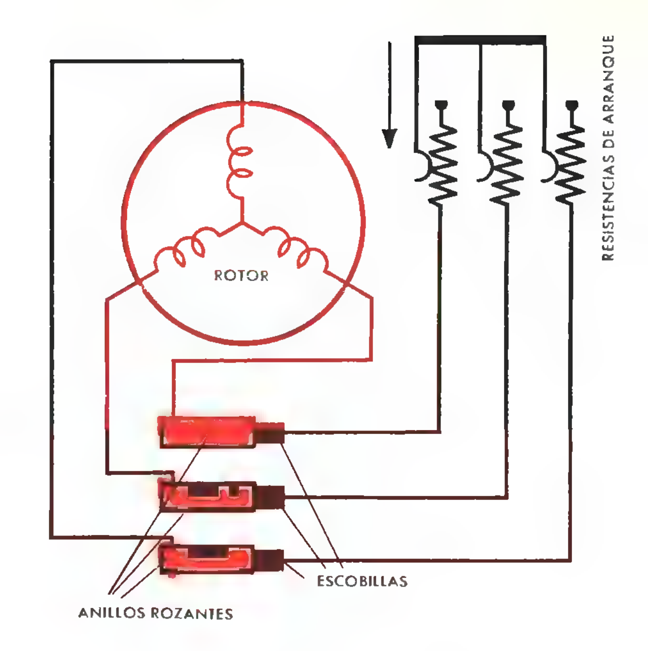
En nuestro esquema sólo se representan los bobinados rotóricos. El circuito del estator puede estar conectado en estrella o triángulo, como en los casos anteriores.

Los más sobresaliente de este motor y que lo caracteriza es la presencia de los tres anillos que reciben un extremo de cada bobina del rotor; el que, en el caso de nuestro ejemplo, está conectado en estrella.

Estos tres anillos reciben el nombre de anillos rozantes; y por extensión también recibe este nombre todo el conjunto rotórico. Se habla de un motor con rotor de anillos rozantes. Tales anillos giran solidariamente con el eje del motor; sobre ellos se deslizan sendas escobillas que permiten intercalar una resistencia de arranque en cada fase del rotor.

La inserción de las resistencias impide que la

Arranque con resistencias en serie con el rotor.



intensidad de la corriente de arranque del rotor, adquiera valores peligrosos; con ello se elimina la misma posibilidad en el estator y, en consecuencia, también en la línea.

Cuando las resistencias de arranque han quedado fuera de circuito, un manguito corredero lateralmente pone en cortocircuito los anillos rozantes y levanta al mismo tiempo las escobillas, con lo cual el reóstato queda aislado del rotor.

Si los anillos no se cortocircuitan, el dispositivo actúa como regulador de velocidad; en realidad se usa muy poco porque reduce considerablemente la potencia útil del motor.

INDUCIDO EN JAULA DE ARDILLA

Este tipo de inducido elimina los bobinados. Vamos a describirlo:

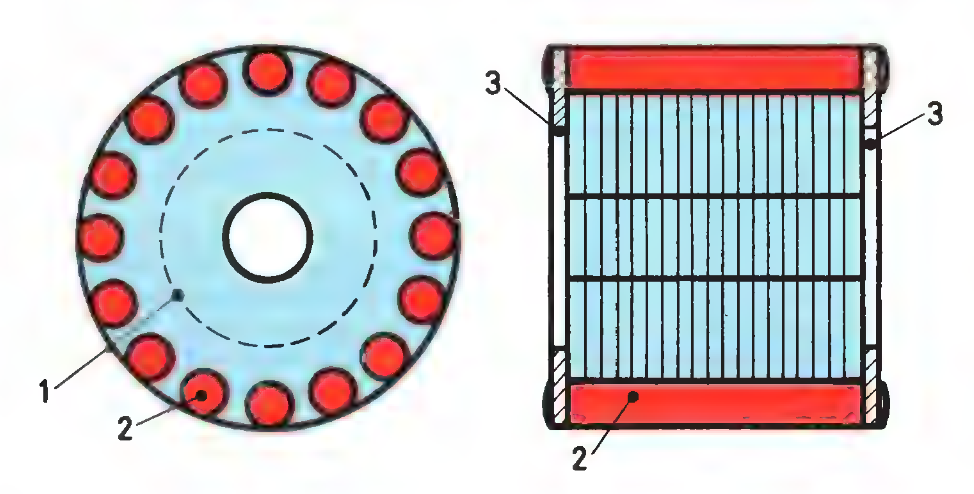
Las planchas magnéticas (de 0'4 a 0'5 mm de espesor) que formarán el empilado del rotor se troquelan con unos orificios periféricos, cuya forma varía según los casos, que una vez encarados en el empilado dan un paso cilíndrico que sustituye las clásicas ranuras de los rotores bobinados.

Por las ranuras obtenidas pasan unas barras de cobre que tienen su misma sección y que sobresalen un poco por ambos extremos del empilado. Estos conductores de cobre se cierran sobre dos anillos del mismo metal (cobre en el caso que comentamos) que reciben el nombre de tapas del rotor.

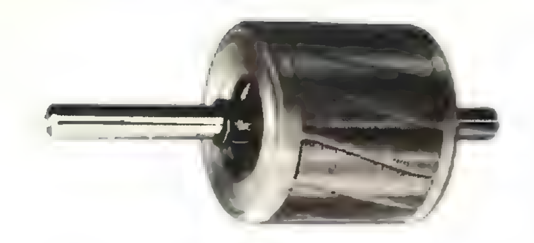
El nombre de jaula de ardilla dado a este tipo de inducido responde a la similitud de forma entre una jaula de las que se utilizaban (o utilizan aún) para encerrar una ardilla y la que tendría el rotor sin su núcleo de plancha magnética.

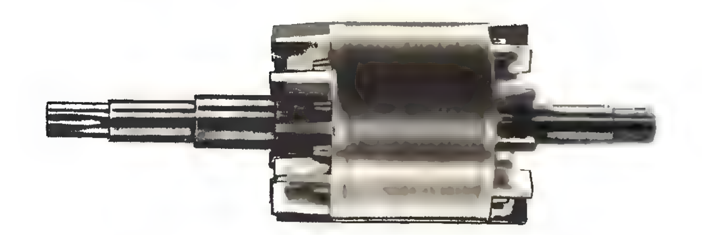
Para motores de pequeña potencia se construyen inducidos en los cuales tanto las barras de cobre como los anillos extremos (tapas) se obtienen inyectando aluminio fundido que ocupa totalmente el interior de las ranuras y el molde a partir del cual se obtienen los anillos. Suele aprovecharse el mismo proceso (moldeado por inyección) para obtener en uno o en ambos anillos unas masas salientes que actúan de aletas de ventilación.

Los rotores de jaula pueden ser de distintos tipos que se distinguen fundamentalmente por la forma de sus ranuras. Así, podemos hablar del rotor normal de barra redonda, del rotor de ranura profunda, del rotor con barras en forma de



Constitución de un rotor en jaula de ardilla: 1. Plancha magnética vista frontalmente. 2. Barra de cobre introducida en una ranura. — 3. Anillos de cobre que cierran las barras de cobre en cortocircuito.





Rotor completo. Jaula sencilla. Fundición de aluminio inyectada.

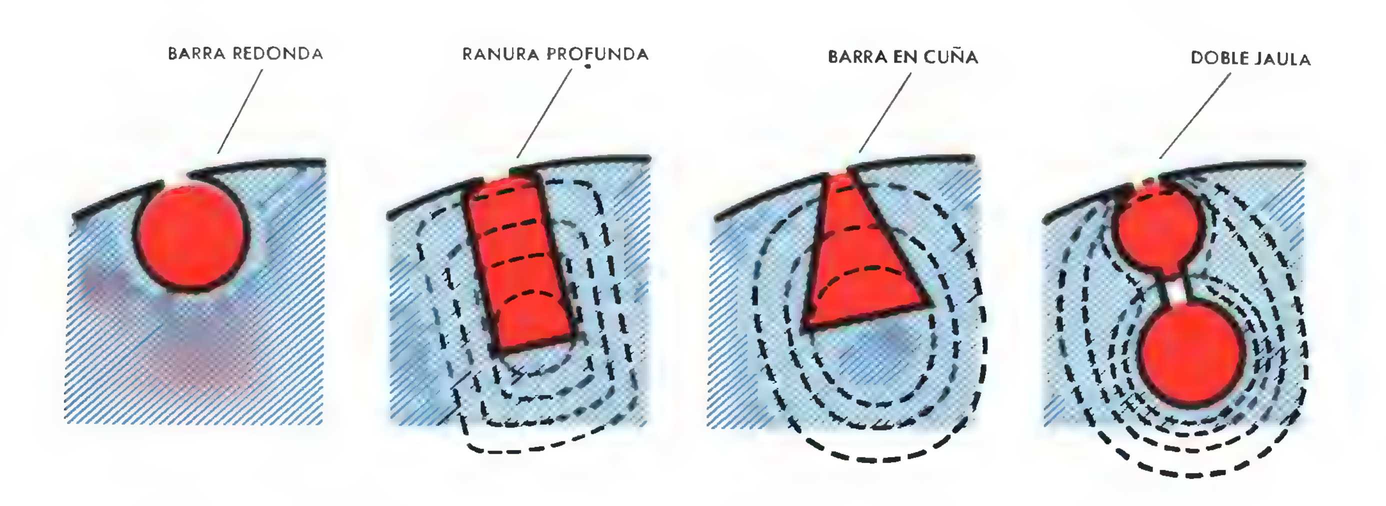
cuña y del rotor de doble barra o de doble jaula, como también se llama.

Lo que se pretende conseguir con estos tipos especiales es una disminución de las corrientes elevadas que proporcionan los motores de jaula en el momento del arranque, circunstancia que es su principal defecto.

Los tres tipos especiales (ranura profunda, cuña y doble jaula) ofrecen la particularidad de trabajar con barras cuya resistencia es mayor en la periferia del rotor que en las capas más profundas.

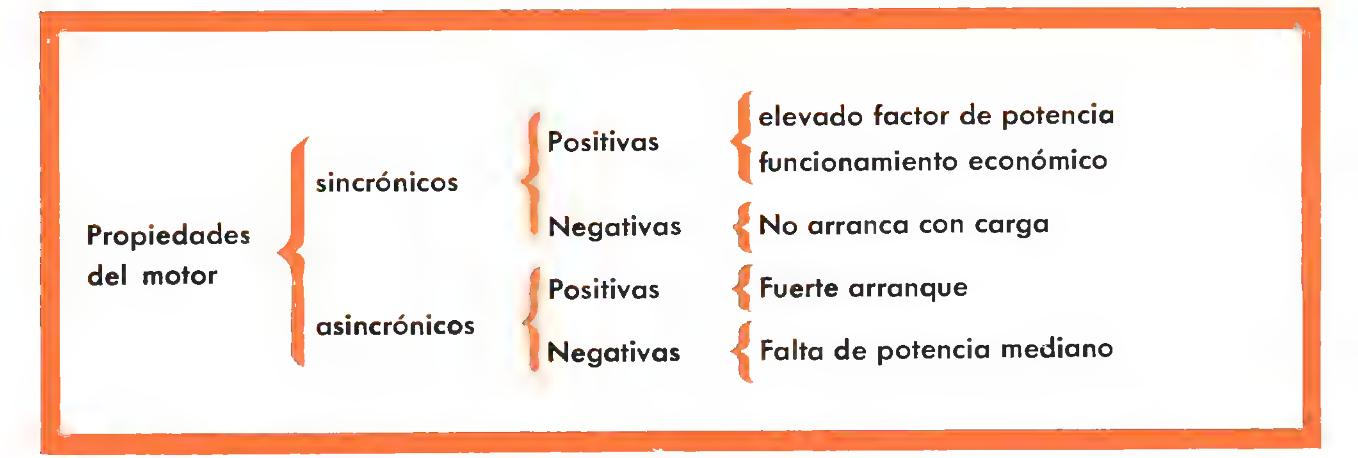
La mayor resistencia de las zonas periféricas se debe a haber empleado un material de mayor resistencia que en las capas profundas, o a haber dado a la barra una sección decreciente. Con este reparto irregular de la resistencia se consigue que la parte profunda sea más intensamente afectada por el flujo de autoinducción, tanto por estar más rodeada de hierro (que concentra las líneas de fuerza) como por verse rodeada (esta parte inferior que bien podemos comparar con la barra interior del rotor de doble jaula) por su propio flujo y el que le llega de la parte periférica (barra exterior en el caso de la doble jaula).

Cuando el inducido está todavía parado y conectamos el estator a la red, las corrientes que afectan los conductores de este inducido tienen la misma frecuencia que podemos medir en la línea. Por tanto, la autoinducción en el rotor será muy elevada, lo que motiva una reactancia inductiva que es mayor donde mayor es el campo. Esta circunstancia se da en las capas más profundas de los conductores especiales o en la doble jaula. En cambio, la parte exterior, a pesar de ofrecer una autoinducción menor, presenta mayor resistencia óhmica, resultando que en el arranque, la jaula tiene una gran resistencia, lo que hace disminuir, como ya hemos dicho, las corrientes del estator. De eso se trataba.



EL MOTOR ASINCRONICO SINCRONIZADO

Hemos visto que tanto el motor sincrónico, como el motor asincrónico tienen, como todo en este mundo, sus ventajas y sus desventajas. Tanto en unos como en otros encontramos propiedades que podemos calificar de positivas y otras que merecen el epíteto de negativas. Hagamos un resumen de ambos tipos de propiedades; véalo en el cuadro que sigue.

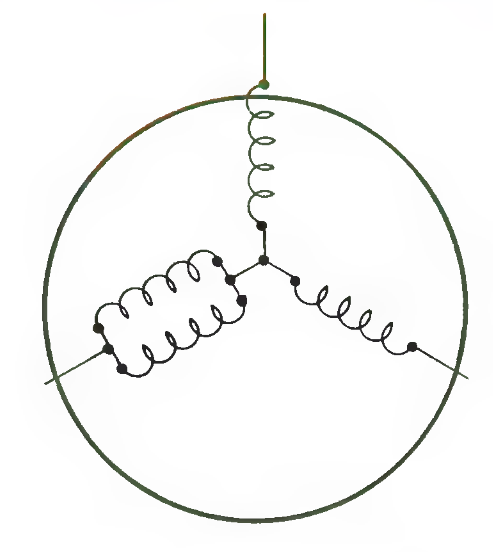


A la vista de este cuadro, ¿no es verdad que es lógico pensar que resultaría ideal conseguir un motor que resumiese en él las cualidades positivas de los sincrónicos y de los asincrónicos?

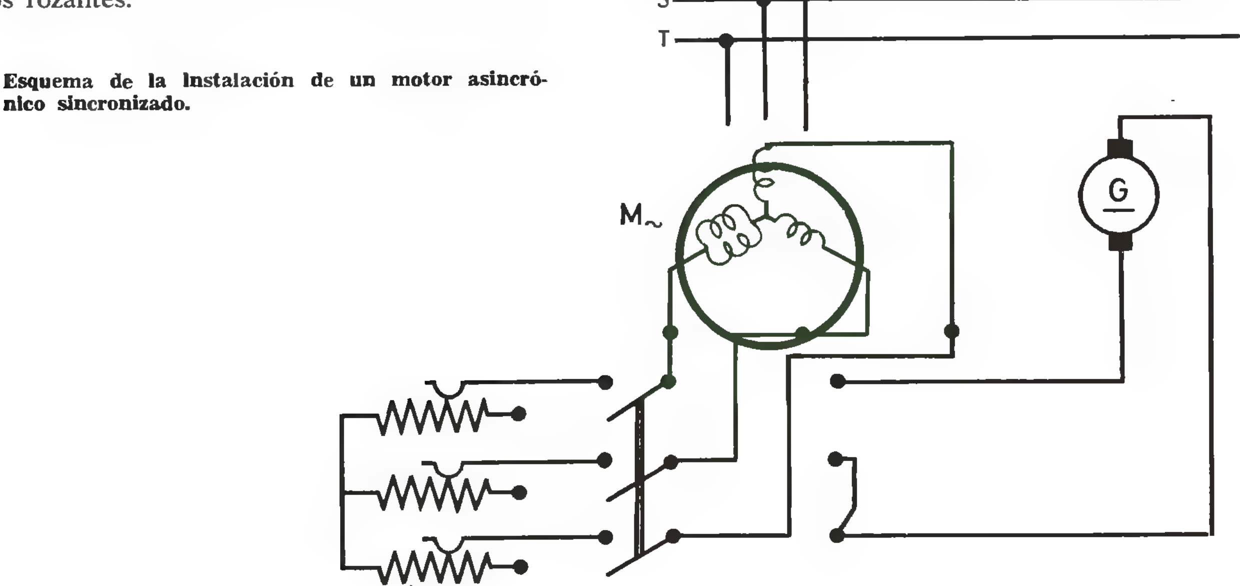
Este motor es el ASINCRÓNICO SINCRONIZADO, que arranca como asincrónico y pasa a funcionar como sincrónico cuando ha alcanzado una velocidad próxima a la de sincronismo.

Su construcción es muy parecida a la del motor asincrónico de rotor bobinado con anillos rozantes (o anillos de regulación), con la diferencia de que una de las tres fases del rotor está dividida en dos partes conectadas en paralelo.

El esquema de la instalación de este motor, naturalmente, incluye componentes propios del motor asincrónico y del sincrónico. Son necesarias las resistencias de arranque para que pueda iniciar su acción actuando como motor asincrónico. Un conmutador desconecta estas resistencias y pone en circuito la dínamo excitatriz que alimenta las bobinas del rotor a través de los anillos rozantes.



Simbolismo que representa el rotor de un motor asincrónico sincronizado.



Esquema de la instalación de un motor asincrónico sincronizado.

En el momento del arranque, el rotor actúa a través del reóstato que, exactamente igual que en los motores asincrónicos, permite una puesta en marcha con fuerte par motor. A medida que se va eliminando resistencia, aumenta la velocidad, llegando a valores próximos al sincronismo.

Es entonces cuanto se acciona el conmutador que desconecta el reóstato y pone el rotor en serie con la dínamo. Una vez establecida esta conexión se alcanza rápidamente la velocidad de sincronismo y el motor, en régimen sigue funcionando como motor sincrónico.

MOTOR ASINCRONICO MONOFASICO

Su nombre lo dice todo: es un motor con una sola fase que funciona con una c.a. también monofásica.

Se trata de un motor extraordinariamente difundido debido al gran desarrollo de las industrias de aparatos electrodomésticos, la mayoría de los cuales necesitan de un motor monofásico para que puedan ser conectados a la red monofásica de la vivienda.

Aunque existen bastante variedades de motores monofásicos, éstos se pueden agrupar así:

Motores monofásicos
- **Motores con bobina auxiliar de arranque**
- **Motores universales**
- **Motores con espira en cortocircuito**

MOTOR MONOFASICO CON BOBINA AUXILIAR

El motor monofásico dispone de una sola fase bobinada. Es decir: en él encontramos dos polos, bobinados con un conductor continuo. Vea el esquema.

En estas condiciones, la corriente alterna que recorre las dos bobinas del inductor crea un flujo variable en intensidad, pero que no puede engendrar un campo giratorio, dada la frontalidad constante entre los dos polos.

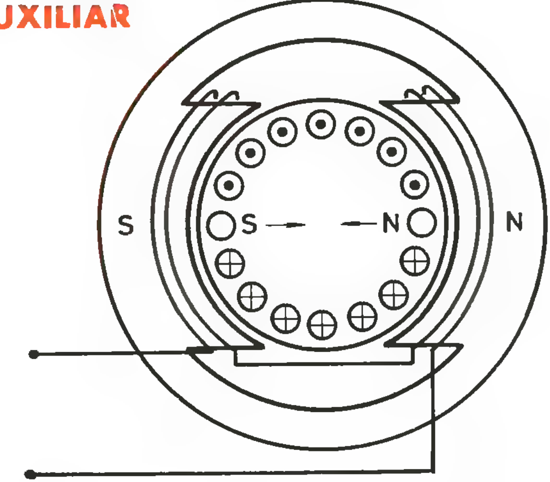
El flujo inductor atraviesa el inducido, creando en él una polaridad de signo contrario; pero, obsérvelo en el esquema, por más que la tendencia del rotor sea girar 180° para enfrentar polaridades opuestas, este giro es imposible mientras las fuerzas actúen siempre en la misma dirección (las flechas del dibujo). El motor, pues, no puede arrancar por sí mismo.

Cuando el motor está conectado a la red, si imprimimos a su eje un impulso rotatorio se rompe el equilibrio y el motor empieza a girar en sentido contrario al del impulso inicial.

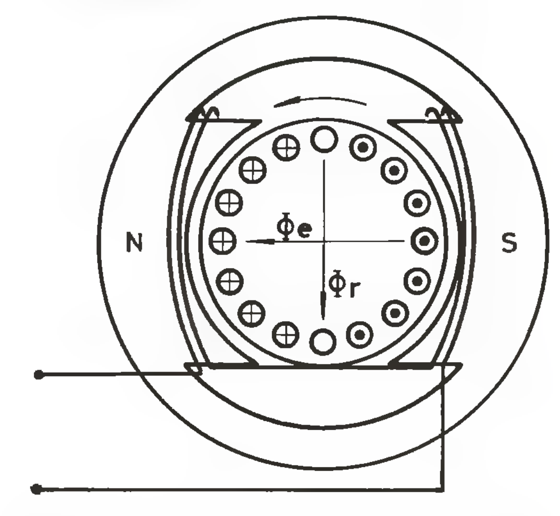
El rotor adquiere una velocidad creciente desde su posición en reposo hasta que los polos del rotor se enfrentan a los del signo contrario, instante en el cual cambia la polaridad; se reproduce el mismo proceso y el rotor sigue girando.

Es evidente que no se alcanza el sincronismo, puesto que es necesario cierto deslizamiento para provocar las corrientes inducidas en el rotor, que gira algo menos de 180° a cada cambio de polaridad.

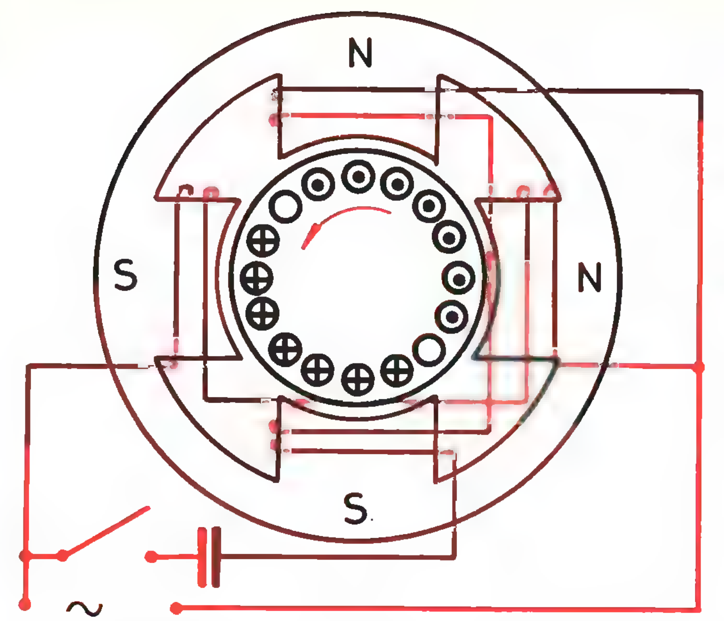
Los conductores del rotor crean un flujo cuya dirección forma un ángulo de 90° con la dirección del flujo inductor del estator. Tenemos, pues,

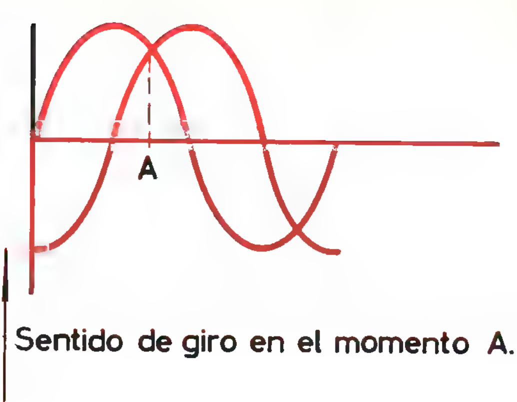


Motor monofásico sin posibilidad de arranque.



Dirección de los campos en el motor monofásico en rotación: Φ_e = flujo creado por el estator. Φ_r = = dirección del flujo del rotor. La flecha superior indica el sentido de la rotación.





Motor monofásico con bobina auxiliar y condensador.

dos fllujos defasados 90° que, según vimos, crearán un campo resultante giratorio como el producido por dos corrientes bifásicas que circulen por dos bobinas perpendiculares.

Hasta aquí hemos visto que, si no ideamos algún dispositivo especial, el motor monofásico necesita un impulso mecánico inicial para ponerse en marcha, cosa que no deja de ser un inconveniente.

Para solucionar este problema, se disponc un segundo bobinado, llamado BOBINADO AUXILIAR DE ARRANQUE. Se trata de dos bobinas capaces de crear un flujo perpendicular al primero y que mientras dura el período de arranque convierten al motor monofásico en una máquina bifásica. Una vez el rotor en marcha, este bobinado puede desconectarse, puesto que el rotor y el estator ya pueden crear un campo giratorio para mantener el motor en marcha.

El motor con bobina auxiliar se conoce también con el nombre de motor de fase partida. Observe en el esquema la existencia de un condensador, y de un interruptor en serie con las bobinas de arranque, situadas a 90° respecto de las bobinas del estator monofásico. Si cerramos el interruptor, la corriente alimentará ambos bobinados; el motor arrancará.

El condensador tiene un valor tal que la corriente que circula por él lo hace con un defase de 45° adelantado con respecto a la tensión de la línea. Este efecto, como puede comprender, es debido a la impedancia de la rama en paralelo bobina-condensador.

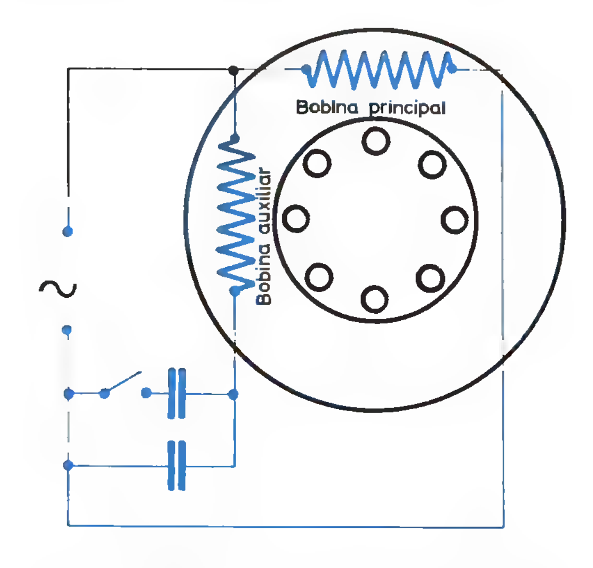
Por otra parte, en la bobina principal existe una autoinducción que defasa la corriente que por ella circula en otros 45°; pero aquí con retraso respecto a la tensión de la red.

En consecuencia, tendremos dos corrientes defasadas 90° una con respecto a otra; y ocurre lo mismo con los flujos creados por ambos pares de bobinas. Hemos llegado al campo giratorio creado por dos corrientes defasadas un cuarto de período y que recorren dos bobinas perpendiculares entre sí.

Repetimos que después del arranque se desconecta el circuito auxiliar (un dispositivo automático se encarga de ello), quedando en acción un clásico motor monofásico.

Este motor posee un fuerte par de arranque, que llega a valer unas tres veces su valor normal. He ahí la principal ventaja de estos motores.

Una variante del motor de fase partida con condensador consiste en disponer dos capacidades en paralelo. Ambos condensadores tienen ca-



Esquema simplificado de un motor con condensadores de arranque y marcha.

pacidad suficiente para el arranque; una vez conseguido se desconecta uno de los condensadores y el otro queda en serie con la bobina auxiliar.

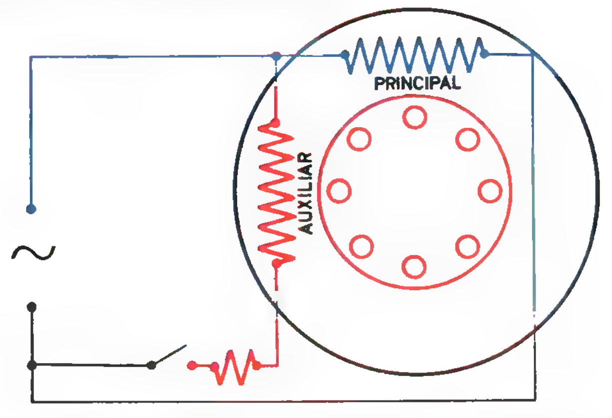
En definitiva tendremos un motor bifásico, cuyo rendimiento siempre es superior al del motor monofásico. Hemos trazado el esquema simplificado de esta máquina.

El motor así concebido recibe el nombre de MOTOR CON CONDENSADORES DE ARRANQUE Y MARCHA.

MOTOR MONOFASICO CON ARRRANQUE POR RESISTENCIA

El motor de fase partida y arranque por resistencia es idéntico al del mismo nombre, pero con condensador. Se comprende que la diferencia está en haber sustituido el condensador por la resistencia en serie con el devanado auxiliar.

El defase entre las dos corrientes se produce por la diferencia de impedancias de los dos circuitos. El bobinado principal tiene mucha inductancia y poca resistencia óhmica; la corriente queda muy retrasada con respecto a la tensión de la red. En cambio, el bobinado de arranque tiene una inductancia menor y mucha más resistencia óhmica (debida a la resistencia de arranque), lo que motiva un defase menor que en la otra bobina.



Motor de fase partida con arranque por resistencia.

El ángulo de defase que tienen las dos corrientes lo tienen también los flujos magnéticos producidos por ellas; y aunque no se consigue un defase de 90° (valor que proporciona el máximo par de arranque), el que se obtiene es suficiente para iniciar el giro del rotor. Un interruptor centrífugo desconecta la resistencia cuando es suficiente la velocidad alcanzada. El par de arranque, en estos motores puede alcanzar un valor de 1 75 veces el par nominal. Si el mecanismo al que se aplica requiere un arranque más potente, deberá instalarse un motor de condensador.

MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA CON COLECTOR

Un gran número de equipos industriales que utilizan motores eléctricos de c.a. requieren una velocidad variable. Es decir: sus equipos motores deben ser de velocidad regulable según sean las necesidades del equipo al que sirven.

Este problema se resuelve con los motores de colector, llamados también de velocidad variable.

Los primeros modelos de este tipo de motor, aparecieron hacia 1885. Eran motores monofásicos.

MOTOR UNIVERSAL

Con el nombre de motores universales se conoce a los motores que pueden funcionar indistintamente con corriente alterna y corriente continua.

Su construcción es similar a la de un motor serie para c.c. Su devanado estatórico principal está conectado en serie con el devanado inducido a través de las escobillas y colector.

Otros nombres propios de este motor son: *motor monofásico serie* y motor de COLECTOR MONOFÁSICO.

Esquema de principio del motor universal.



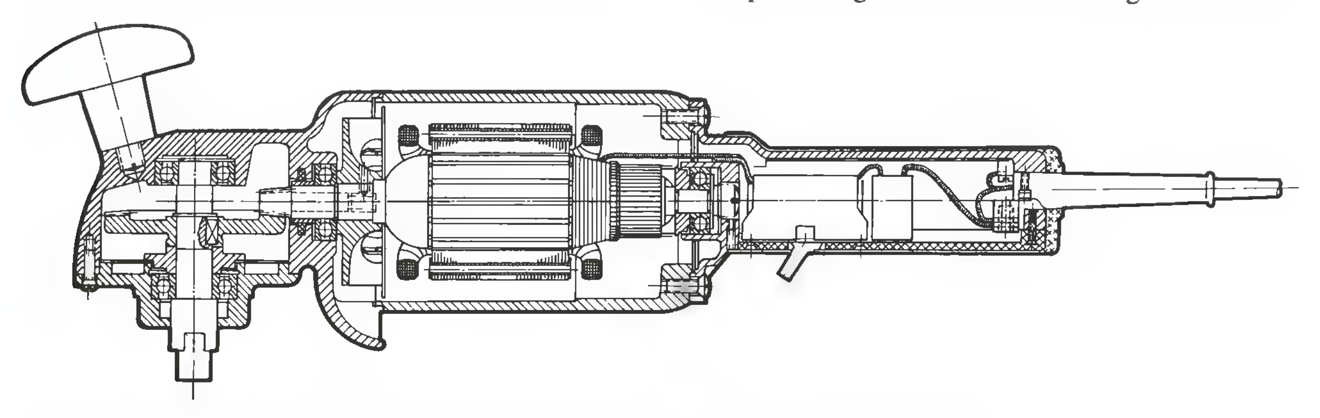
Fotografía de un motor universal.

Este motor se caracteriza por su fuerte arranque y porque su velocidad no es constante, sino que está en razón inversa de la carga. Debido a esta dependencia, cuando desaparece la carga se corre el riesgo de que el rotor sufra un embalamiento excesivo que puede ser peligroso por la enorme fuerza centrífuga en cuanto exista alguna masa descentrada.

Sin embargo, como los motores universales que trabajan con c.a. suelen ser pequeños este peligro es prácticamente inexistente. Además del poco diámetro del rotor (que reduce la fuerza centrífuga) parte de la potencia del motor se emplea en vencer los rozamientos del eje con los cojinetes y el de las aletas del ventilador con el aire. Por tanto, no puede decirse de una forma absoluta que el motor trabaja sin carga.

Hemos dicho (y usted lo ha visto en el esquema) que estos motores son iguales a los motores serie de c.c. Sin embargo, cuando el motor debe servir para corriente alterna, *es obligado que los núcleos del inductor y del inducido estén formados por un empilado de chapa magnética.*

El motor monofásico serie es el más utilizado en pequeña maquinaria: herramientas mecánicas portátiles (taladros, cepilladoras, pulidoras), máquinas de coser, aspiradores y, en general, en todos aquellos ingenios que requieren elevadas velocidades y bajas potencias, así como la posibilidad de poder regular la velocidad de giro.



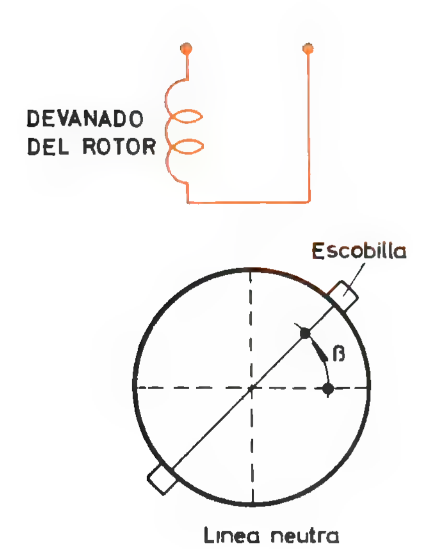
A título de ejemplo adjuntamos el plano y el esquema eléctrico de un taladro portátil AEG.

MOTOR MONOFASICO A REPULSION

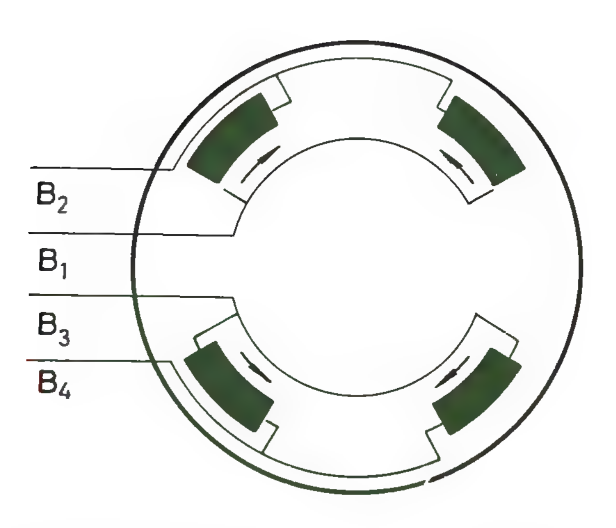
Este motor de velocidad variable consta de un estator monofásico ordinario cuyo bobinado ocupa las dos terceras partes de su periferia, y un rotor semejante al de un motor de corriente continua.

Dos líneas de escobillas situadas a 180° y reunidas en cortocircuito se colocan sobre el colector. El estator y el rotor son independientes. Vea el esquema.

Cuando las escobillas están colocadas perpendiculares al campo, no existe ninguna f.e.m. en las dos ramas del inducido; pero cuando aqué-



Esquema del motor a repulsión.



Rotor tetrapolar de un motor de repulsión preparado para dos tensiones. Para conectarlo a 220 V debe establecerse un puente entre los bornes B_2 y B_3.

llas quedan en el mismo sentido que el campo, los bobinados del rotor se comportan como el secundario de un transformador y se inducen en ellos las f.e.m. totales de la transformación. Por los devanados rotóricos circulan corrientes muy intensas, como en un transformador en cortocircuito.

Ahora bien, cuando las escobillas están en esta posición no hay momento de giro y resulta peligroso connectarlo a la red en tales condiciones.

El arranque de este motor se produce cuando las escobillas giran un ángulo β partiendo de la posición cero y *en sentido contrario a las agujas de un reloj*. Entonces el rotor empieza a girar *en el sentido de las agujas del reloj*.

La magnitud del par motor depende de la inclinación de las escobillas; debe contarse con que el par nonimal se obtiene cuando el ángulo es de 70°.

Se comprende que la regulación de la velocidad se logre decalando más o menos el conjunto de las escobillas con relación a la línea neutra o de oposición de flujos.

Estos motores pueden trabajar a dos tensiones (125 y 220 V, por ejemplo); depende del tipo de conexionado que se haya practicado entre los arrollamientos inductores.

MOTOR MONOFASICO A REPULSION COMPENSADO O MOTOR LATOUR

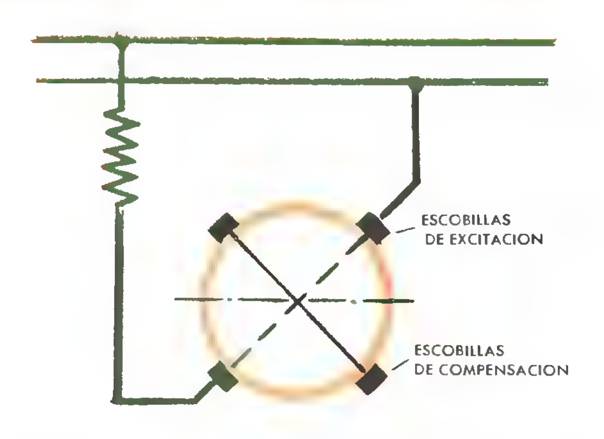
Este motor se caracteriza por el doble par de escobillas que trabajan sobre el colector.

Estas escobillas actúan perpendicularmente, como puede ver en el esquema. Dos quedan en conexión con la corriente de la línea; las otras dos siguen actuando en cortocircuito con una unión con muy poca resistencia.

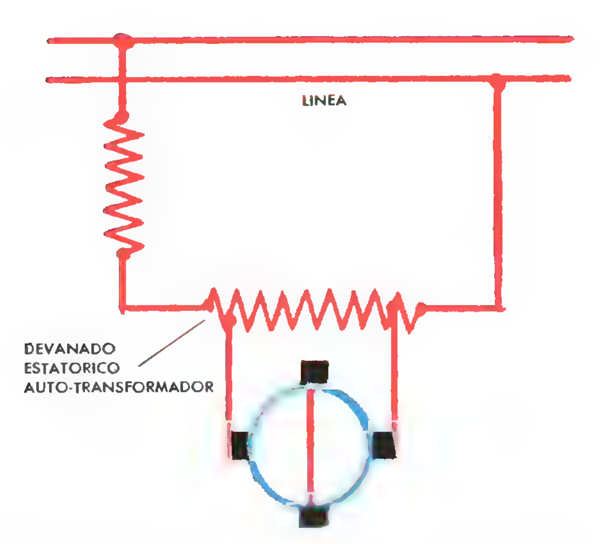
Tanto el rotor como el estator son los clásicos de un motor serie.

Observe que este motor actúa como motor serie y como motor a repulsión. El arranque, lo efectúa por repulsión.

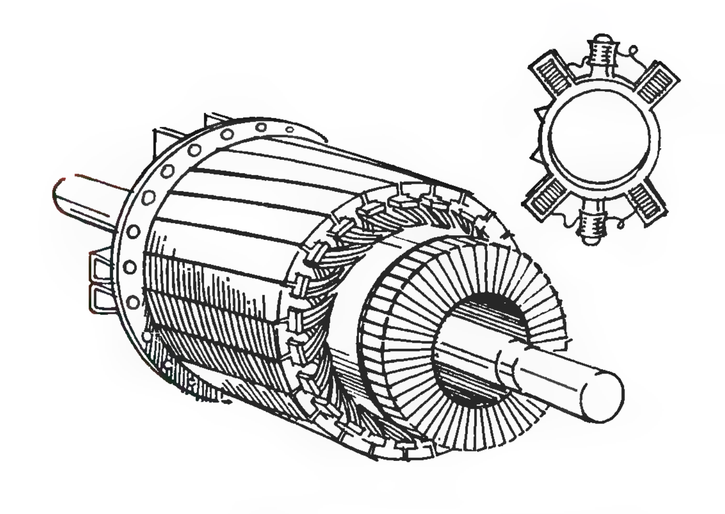
Otro detalle a observar es la inclinación de las ranuras del rotor, característica en los motores de repulsión.



Esquema de motor monofásico a repulsión compensado.



Rotor y portaescobillas del motor a repulsión compensado.



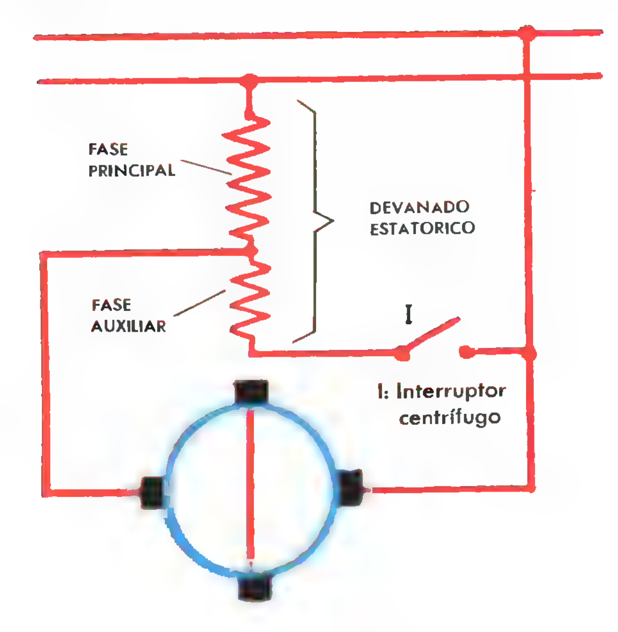
Motor monofásico de repulsión, compensado con autotransformador de alimentación.

Para el perfecto funcionamiento de este motor, es indispensable que la tensión de alimentación se adapte a la potencia del motor. Es decir: según la potencia, así deberá ser el valor de la tensión. Un motor de 1 CV, por ejemplo, no puede fabricarse convenientemente para tensiones que sobrepasen los 110 V. Un motor de 10 CV exige una tensión mínima de 200 V.

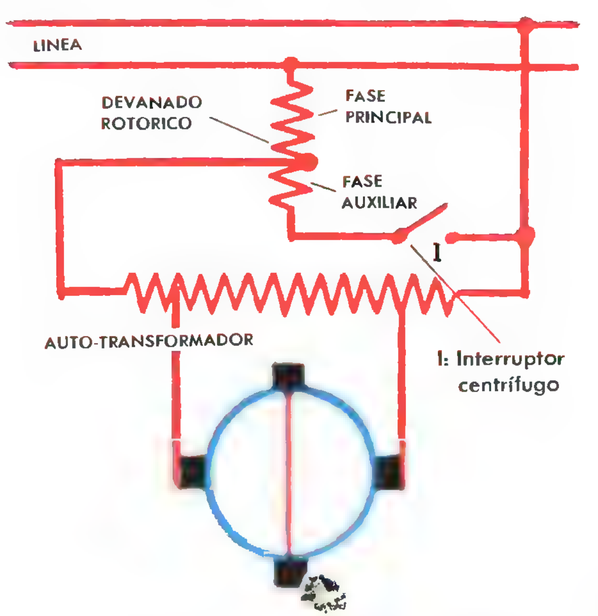
Esto no deja de ser un inconveniente, que se soluciona intercalando un transformador o autotransformador entre el inductor y las escobillas.

El motor puede transformarse en motor *shunt* con sólo añadir una fase auxiliar formada por algunas espiras convenientemente repartidas sobre el bobinado principal. Esta fase auxiliar se pone en servicio, por ejemplo, con la acción de un interruptor centrífugo.

Exactamente igual que en el caso de un motor serie, un autotransformador conectado entre el estator y el rotor permite la adaptación de la máquina a la tensión que pueda tener la línea que la alimenta.



Motor monofásico de repulsión compensado. Característica shunt.



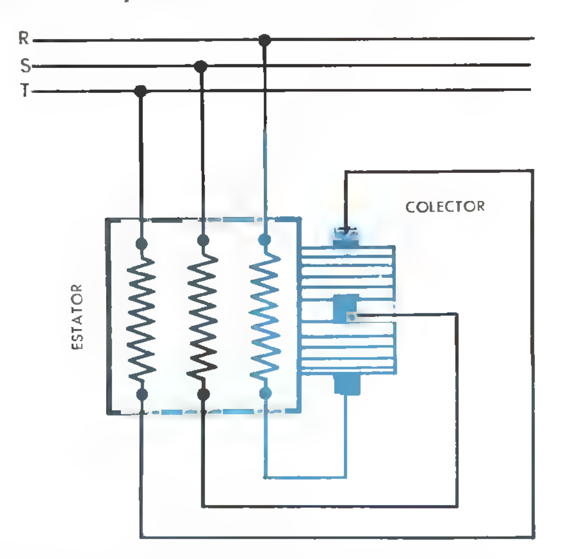
Motor monofásico de repulsión, compensado por característica shunt, con autotransformador de alimentación.

MOTORES TRIFASICOS DE COLECTOR

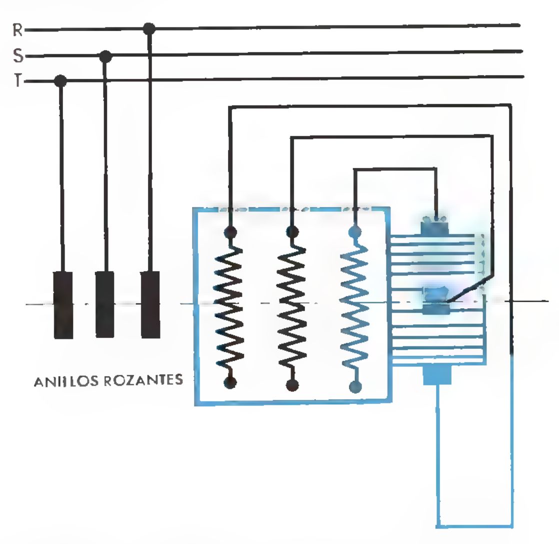
Cuando se precisa una regulación automática o manual de la velocidad y sólo se dispone de una red trifásica, se utilizan motores de colector trifásicos serie o *shunt*.

Los motores trifásicos shunt

Estos motores pueden alimentarse tanto por el rotor como por el estator. Los sistemas de conexión más frecuentes son los que indican los esquemas adjuntos:



Motor trifásico shunt alimentado por el estator.



Esquema del conexionado de un motor trifásico shunt alimentado por el rotor.

R
S
T
ESTATOR
ROTOR
COLECTOR

Esquema de conexiones de un motor shunt de colector, trifásico, alimentado por el rotor y el estator.

Devanado estatórico

Anillos colectores

Colector

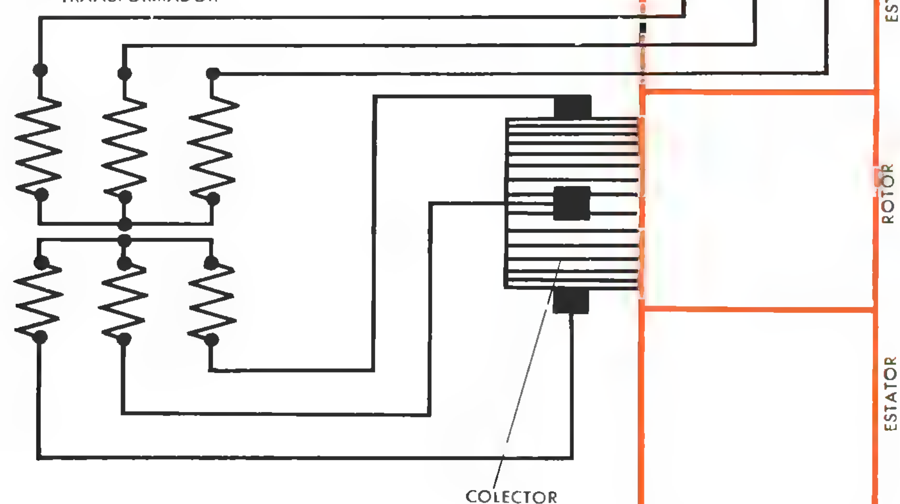
Devanado rotórico

Arollamiento rotorico de colector

Esquema de principio de un motor trifásico shunt alimentado por el rotor.

Debido a la reacción entre las corrientes del rotor y las inducidas en el estator por el campo giratorio, el motor empezará a girar en sentido opuesto al del campo. Al aumentar el número de revoluciones, disminuye la velocidad relativa del campo giratorio respecto al estator, reduciéndose la frecuencia a la que corresponde al deslizamiento.

La regulación de velocidad se realiza aplicando una tensión variable a voluntad al estator del motor.



Motor trifásico serie. Esquema de sus conexiones.

Motor de colector trifásico serie

El estator y las escobillas del colector se conectan en serie, sea directamente o interponiendo un transformador, que por lo general resulta indispensable para reducir la tensión en el colector y facilitar así la conmutación. Esta reducción de la tensión en el rotor limita la velocidad en vacío del motor.

MOTOR MONOFASICO DE ESPIRA EN CORTOCIRCUITO



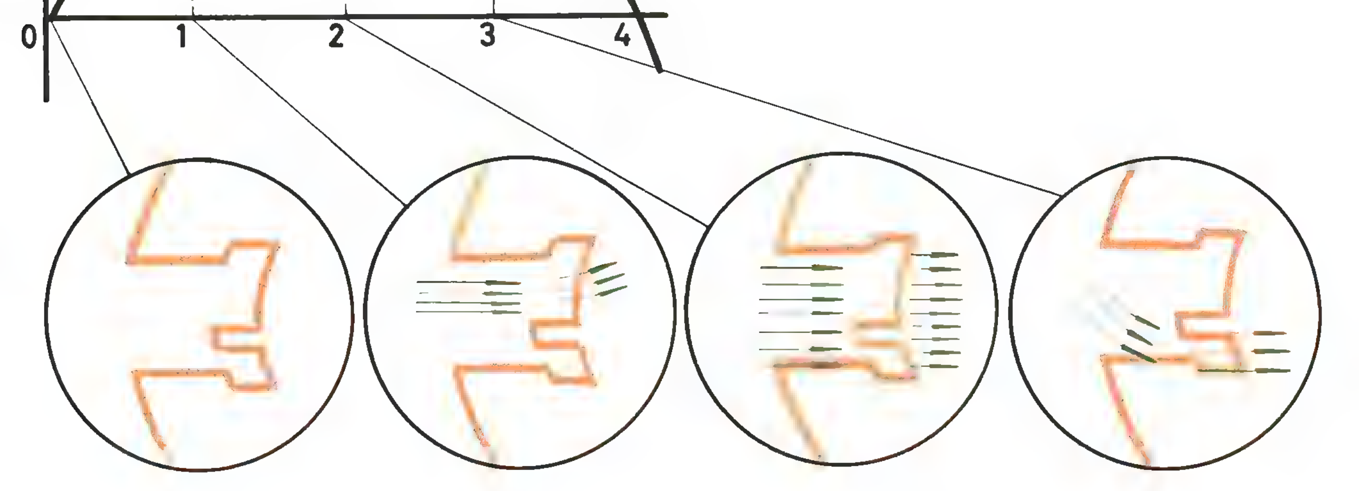
Este motor es de rotor de jaula de ardilla y estator de polos salientes, no con ranuras. Su característica está precisamente en los polos estatóricos, ya que en cada núcleo se colocan no sólo la bobina inductora ordinaria, sino que, además, parte del núcleo queda abrazado por una o más espiras en cortocircuito.

Ya vimos cómo al aplicar una corriente alterna al estator el flujo alterno producido actuaba siempre en la misma dirección, lo que lo incapacitaba para iniciar el giro del rotor. La espira en cortocircuito actúa de fase auxiliar y se la llama también *espira de sombra.*

Veamos cómo actúa esta espira:

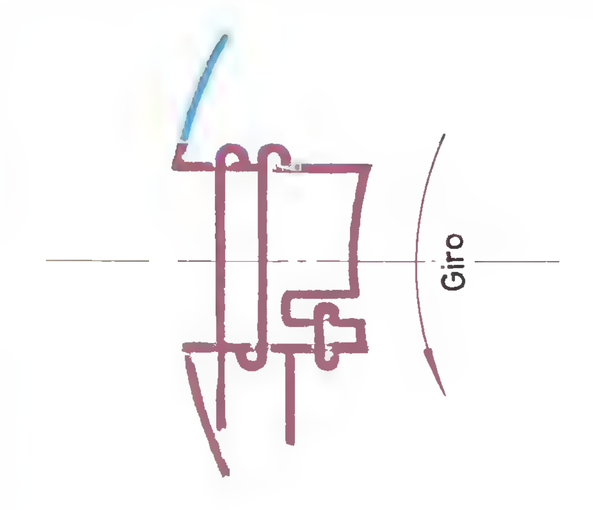
Cuando el núcleo se magnetiza con el flujo variable, en la espira en cortocircuito se induce una corriente que crea su propio flujo y que, como sabemos, está dirigida en sentido contrario al del flujo principal.

Consideremos un semiperíodo de la corriente inductora y veamos las consecuencias que para el flujo principal tiene el flujo que nace en la espira en cortocircuito.



En el instante 0 no hay corriente y por lo tanto tampoco habrá flujo variable. En la espita en cortocircuito no hay corriente inducida.
En el instante 1 la corriente que circula por la boblna del estator es variable, de signo creciente, lo que determina un flujo variable que inducirá una corriente en la espira de sombra, la cual crea su propio flujo contrario al flujo inductor. Este flujo contrario desmagnetiza la parte del núcleo próximo a la espira, desviándose el flujo principai.
En el instante 2 la corriente llega al máximo; no hay varlación, y por tanto no hay Inducción en la espira. Por ello el flujo inductor queda centrado con el núcleo.
En el momento 3 la variación es de signo decreciente. En la espira se induce una corriente que origina un flujo contrarlo al anterior. Esta vez reforzará el flujo en la parte de la espira, fenómeno de carácter contrario al de instante 1.
En el punto 4 se repite la situación del punto 0.

Se comprende que en el otro semiperíodo se repetirá lo mismo, pero con los sentidos invertidos. Es este movimiento del flujo lo que origina el giro del motor, como consecuencia del retraso que lleva el flujo de la espira con respecto al flujo del núcleo. El rotor gira en el sentido que señala la posición de la espira con referencia al eje geométrico del núcleo.





FORMULAS DE LA POTENCIA EN LOS MOTORES DE C. A.

La potencia absorbida por un motor viene dada por las siguientes fórmulas:

MOTOR MONOFÁSICO $W = V \times I \times \cos \varphi$

MOTOR TRIFÁSICO $W = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi$

En estas fórmulas es: W = potencia en vatios.

V = tensión eficaz en voltios.

I = corriente en amperios.

$\cos \varphi$ = factor de potencia.

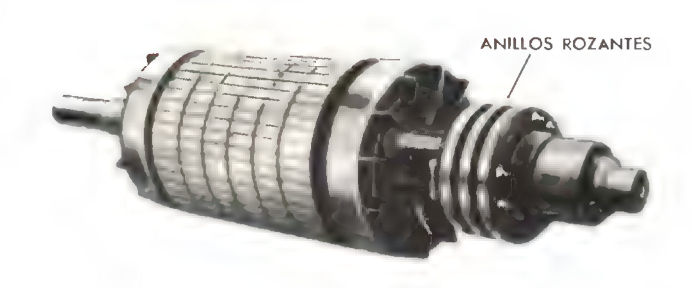
Se llama *rendimiento* de un motor a la relación entre la potencia producida y la potencia absorbida de la línea.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{W producida}}{\text{W absorbida}}$$

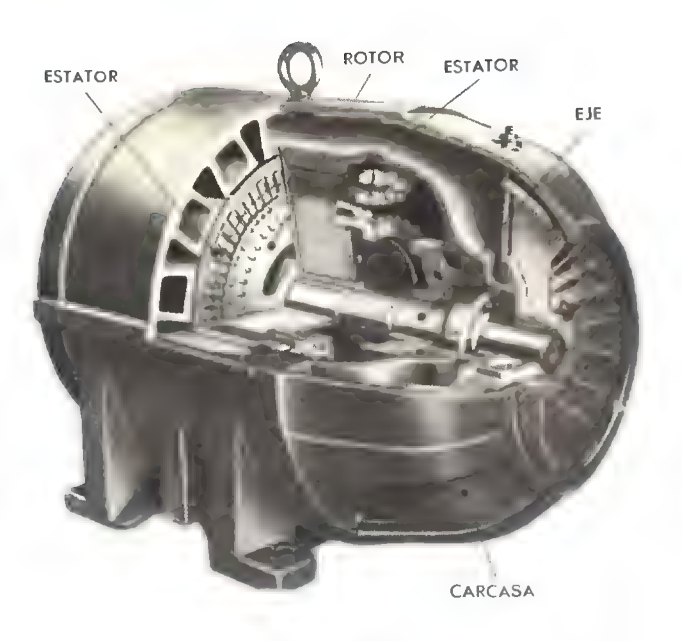
BREVE INFORMACION GRAFICA SOBRE DISTINTOS TIPOS DE MOTORES

Con el ánimo de ilustrar lo que llevamos dicho sobre motores asincrónicos, añadimos algunos documentos gráficos que sin duda le darán una clara idea sobre la forma constructiva de estas máquinas eléctricas. Sabemos perfectamente que es casi imposible conseguir que unas frases más o menos acertadas y unos gráficos que las acompañan tengan la misma eficacia descriptiva que el contacto directo con la máquina. Generalmente, el estudio gráfico y literario de estas cuestiones de índole constructiva produce la impresión de que las cosas son más complicadas de lo que en realidad son. Es seguro que a usted, una vez enfrentado con la realidad, en contacto directo con las piezas de un motor, le parecerá que todo es mucho más sencillo.

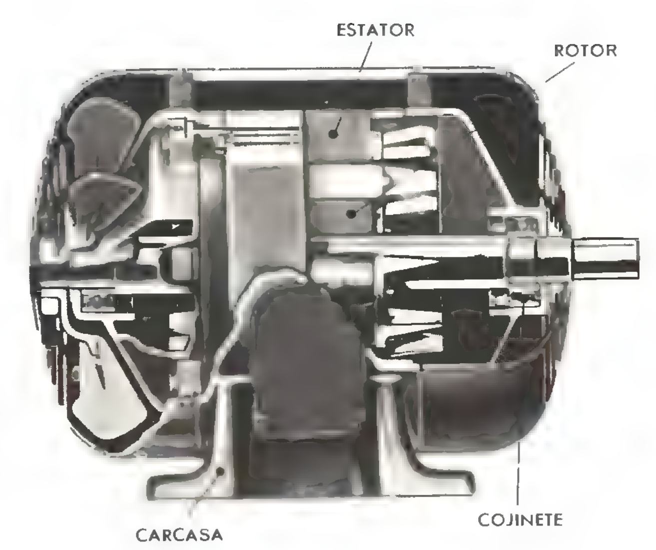
Con esta convicción, vea los gráficos a que nos referimos.



Rotor bobinado para un motor de anillos rozantes.



Motor de inducción con rotor de jaula profunda.



Motor de inducción con rotor de doble jaula. Advierta la complejidad de la carcasa, debida a los canales de ventilación.

Sección de un motor con rotor de jaula profunda y estator de polos salientes. Las flechas indican los caminos de ventilación.

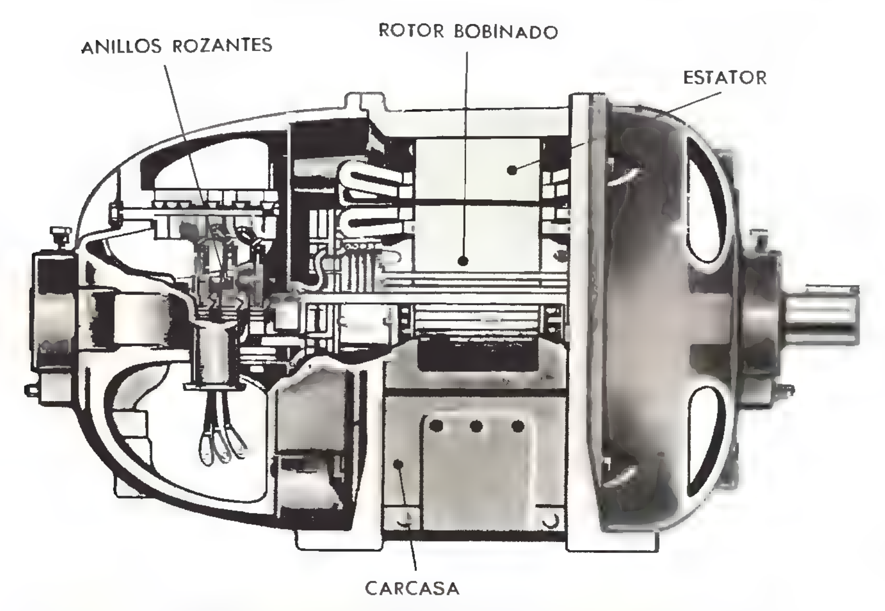
ROTOR

ESTATOR

ARROLLAMIENTO ESTATORICO

BARRA DE COBRE QUE LLEVA LA RANURA PROFUNDA

Sección de un motor de anillos rozantes con indicación de los circuitos de ventilación.



Motor de anillos rozantes con una sección axial del mismo.

FORMAS CONSTRUCTIVAS NORMALIZADAS

El constante aumento que ha experimentado la demanda de motores eléctricos por parte de la industria ha hecho necesaria la normalización de sus tamaños, formas y características técnicas.

Los motores (los de inducción, sobre todo) se fabrican de acuerdo con distintas normas, que en Europa se fundamentan casi todas en las DIN alemanas.

De estas normas, a título orientativo, damos un extracto de la DIN 42950 sobre formas constructivas y de la DIN 40050 sobre tipos de protección.

FORMAS CONSTRUCTIVAS

B3 B6 B7
B8 V5 V6

Carcasa con patas y dos escudos.

B5 V1 V3

Carcasa sin patas, con brida en el lado del accionamiento.

V2 V4

Carcasa sin patas, escudo con brida en el lado opuesto al accionamiento.

B9 V8 V9

Carcasa sin patas, sin escudo en el lado del accionamiento.

B10 V10

Brida intermedia en el lado del accionamiento.

B3/B5 B3/B9

Formas combinadas.

D5 C2
D9

Con uno o dos apoyos, o sillas, de cojinetes.

D 13

Con tres sillas de cojinetes.

PROTECCIONES

Según sean las condiciones de trabajo de un motor, requerirá una u otra protección. Al decir condiciones de trabajo, nos referimos más bien a las derivadas del medio ambiente que rodea al motor, más que a las condiciones eléctricas a que se le somete. El tipo de protección se indica por medio de la letra **P** y de dos cifras distintivas, cuyo significado damos a continuación.

SIMBOLOS DISTINTIVOS DE LA CLASE DE PROTECCION (SEGUN DIN 40050)

P Letra distintiva general de protección.

PRIMERA CIFRA DISTINTIVA
(Penetración de sólidos)

P 0 \Sin protección al contacto fortuito ni protección contra cuerpos sólidos.

P 3 Protección contra contactos voluntarios. Protección contra cuerpos sólidos grandes.

P 2 Protección contra contactos fortuitos. Protección contra cuerpos sólidos pequeños.

P 3 Protección contra contactos voluntarios. Protección contra polvo grueso.

P 4* Protección contra contactos voluntarios. Protección contra polvo fino.

SEGUNDA CIFRA DISTINTIVA
(Penetración de líquido)

P 0 Sin protección contra el agua. No impide la penetración de agua.

P 1 Protección contra goteo de agua. Protección contra gotas en caída vertical.

P 2 Protección contra gotas de agua (protección contra lluvia). Protección contra salpicaduras de agua hasta en dirección horizontal.

P 3 Protección contra chorro de agua, contra golpes de agua en cualquier dirección, incluso de abajo hacia arriba.

P 4* Protección contra humedad (a prueba de vapor de agua). Protección contra chorros y vapor de agua, así como contra polvo fino.

(*) Unicamente para bornes de conexión.

EJEMPLOS

Protección P 00 Sin protección contra contactos casuales, sin protección contra cuerpos sólidos, sin protección contra el agua.

Protección P 21 Protección contra contactos casuales con los dedos y cuerpos sólidos medios, protección contra goteo de agua.

Protección P 22 Protección contra contactos casuales con los dedos y cuerpos sólidos medios, protección contra salpicaduras de agua en sentido vertical y en sentidos inclinados hasta 30° con respecto a la horizontal.

Protección P 33 Protección contra contactos intencionados con herramientas o similares y contra polvo grueso. Protección contra chorros de agua, sin presión, en todos los sentidos.



Forma B3. Protección P33.



Forma B3. Protección P22.



Motor de jaula protegido contra goteo y salpicaduras. Protección P12, forma B3.

AISLAMIENTO DE LOS MOTORES

Según las normas para la construcción de máquinas eléctricas, los distintos aislamientos se dividen o clasifican en los tipos que se indican en la tabla siguiente:

Los motores con aislamiento clase E o B están protegidos contra la acción química de los gases o vapores corrosivos.

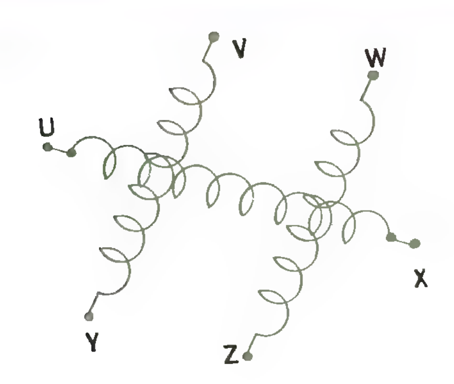
AISLAMIENTO DE LOS MOTORES			
EJECUCION	ROTOR	AISLAMIENTO CLASE	EJECUCION NORMAL DEL TIPO DE AISLAMIENTO
MOTORES PROTEGIDOS	JAULA	A-B	AISLAMIENTO NORMAL
		E	» TROPICAL
		A	» NORMAL
	ANILLOS ROZANTES	A	AISLAMIENTO NORMAL
		E	» TROPICAL
		A-B	» NORMAL
MOTORES CERRADOS	JAULA	E	AISLAMIENTO TROPICAL
		A-B	» NORMAL
	ANILLOS ROZANTES	A-B	AISLAMIENTO NORMAL

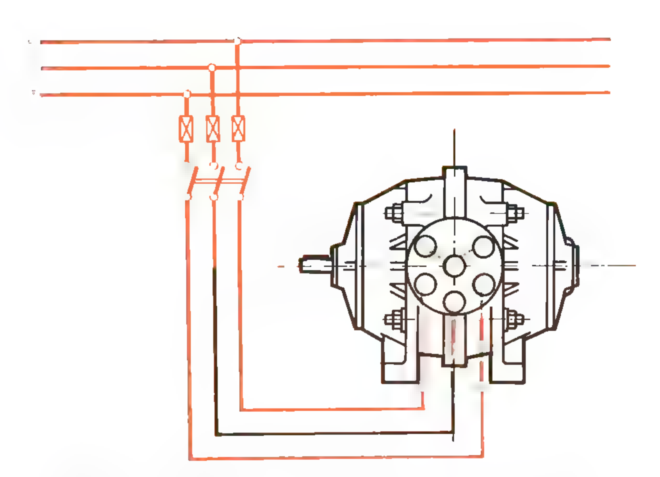
MOTORES PROTEGIDOS CONTRA EXPLOSIONES O ANTIDEFLAGANTES

En los motores que han de trabajar en ambiente que contenga gases o vapores que puedan formar mezclas explosivas con el aire, han de preverse protecciones especiales que ofrezcan seguridad, de acuerdo con la mayor o menor posibilidad de inflamación de dichas mezclas.

Las normas alemanas establecen la siguiente clasificación según la temperatura de inflamación:

GRUPO DE INFLAMACION	TEMPERATURA DE INFLAMACION	GASES O VAPORES
A	MAYOR DE 450.°C	ETANO, ETILENO, AMONIACO, ACETONA, BENCINA, BENZOL, BUTANO, OXIDO DE CARBONO, METANO, GAS NATURAL, PENTANO, PROPANO, GAS DE ALUMBRADO, TOLUOL, GAS DE AGUA,
B		HIDROGENO.
C	MAYOR DE 300.°C	ACETALDEHIDO, ACETILENO, ALCOHOL ETILICO.
	MAYOR DE 175 °C	ETER ETILICO, EXANO.
D	MAYOR DE 120.°C	SULFURO DE CARBONO.





Arranque directo de un motor con bobinado conectado en estrella.

Según las citadas prescripciones deben protegerse los motores por los correspondientes guardamotores, ajustando el tiempo de desconexión de forma que sea inferior al necesario para que el motor alcance la temperatura correspondiente al grupo de inflamación de que se trate, manteniendo el rotor frenado.

En estos motores la caja de bornes corresponde a la protección **P 43**.

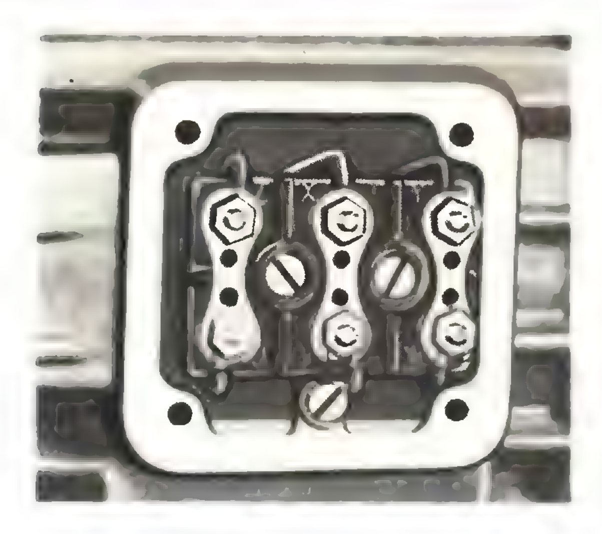
Los motores eléctricos, según las normas más usuales, deben estar provistos de una caja de bornes, en la cual son accesibles los principios y finales de bobinas, que además deben marcarse de la forma siguiente:

Los bornes marcados con **U, V** y **W** se conectan directamente a la red, mientras que los bornes y, z y x son los que puede conectarse en estrella (⅄) o en triángulo (△). La figura indica la posición de los puentes en conexión estrella, y la conexión del motor a la red.

En la conexión estrella, los puentes unen los bornes y, z y x. Esta conexión se utiliza para la tensión más alta.

En la conexión triángulo, los puentes unen respectivamente los bornes **Y-U, Z-V** y **X-W.** Esta conexión se utiliza para la tensión más baja. La figura representa la posición de los puentes en conexión triángulo y la conexión del motor a la red.

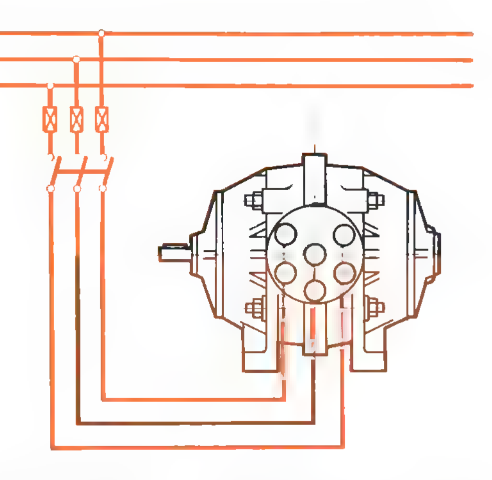
A continuación reproducimos una caja de bornes conectada en △ y en ⅄ .



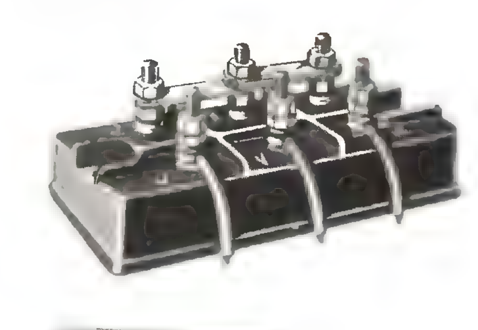
Conexion en triángulo.



Conexion en estrella.

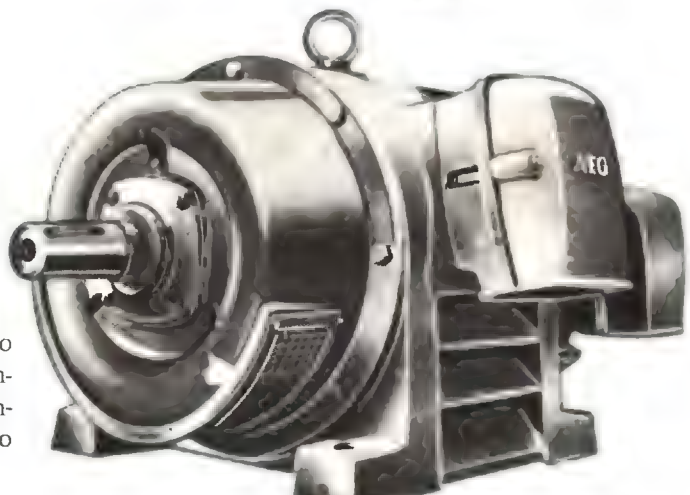


Arranque directo de un motor con bobinado conectado en triángulo.





La caja de bornes varía de forma y de tamaño según la potencia y protección del motor. A continuación reproducimos un motor de gran potencia, en el cual se aprecian la forma y el tamaño de la caja de bornes.



En motores de varias tensiones, los bobinados se fraccionan y se sacan a la caja de bornes. Vea ahora la disposición de los puentes y la conexión de los devanados para cada tensión.

Disposición de la placa de bornas	X1 U1 V U X Y Z V_1 Z_1 Y_1 W W_1	X1 U1 V U X Y Z V_1 Z_1 Y_1 W W_1	X1 U1 V U X Y Z V_1 Z_1 Y_1 W W_1	X1 U1 V U X Y Z V_1 Z_1 Y_1 W W_1
Esquema de conexiones	U W V	U W V	U W V	U W V
FORMA	Triángulo - paralelo	Estrella - paralelo	Triángulo - serie	Estrella - serie
Tensiones posibles	110 127 150 220 250	190 220 250 380 440	220 254 300 440 500	380 440 500 — —
NOTA —La alimentación, en todos los casos, se efectuará conectando a la red las tres barnas U, V y W.				

LO QUE SE DEBE SABER PARA ESCOGER EL MOTOR NECESARIO

Como apéndice de este capítulo de ELECTROTECNIA nos extendemos en una cuestión de carácter teórico cuya importancia no puede ocultarse. Lo mismo que en otras ocasiones, imprimimos en un tipo de letra más pequeño un tema que viene a ser una ampliación de conocimientos para aquellos que estando capacitados para la comprensión de ciertas cuestiones matemáticas desean, sin embargo, alcanzar una formación técnica de carácter superior.

¿COMO ESCOGER UN MOTOR?

En nuestro trabajo, muchas veces nos hacemos esta pregunta. Como es sabido, no todos los motores eléctricos pueden ser utilizados para toda clase de trabajos; sino que, por lo contrario, cada trabajo requiere un tipo de motor determinado.

Para elegir un motor adecuado hay que tener en cuenta: la carga de trabajo (potencia), la clase de servicio, el ciclo de trabajo, los procesos de arranque, frenado e inversión, las regulaciones de la velocidad, las condiciones de la red y la temperatura ambiente.

La potencia de accionamiento (KW), o el par motor (mKg) y el número de revoluciones (r.p.m.) necesarios para el régimen de trabajo nominal de la máquina accionada, deben conocerse con la mayor exactitud posible, para poder escoger el motor adecuado al trabajo a realizar. Para ello contamos con una serie de igualdades que exponemos a continuación y que nos permiten los cálculos necesarios.

$$\text{potencia (KW)} = \text{par motor (mKg)}\;\frac{\text{número de revoluciones (r.p.m.)}}{975}$$

$$\text{potencia (CV)} = \text{par motor (mKg)}\;\frac{\text{número de revoluciones (r.p.m.)}}{716}$$

Recordemos también que:

Potencia en KW = 0'736 × potencia en CV.

Potencia en CV = 1'36 × potencia en KW.

La potencia está definida, por el producto de dos factores: la fuerza F en Kg y la velocidad V en metros por segundo.

$$\text{Potencia } P = F \times V = \text{Kgm/s}$$

(kilográmetros por segundo)

En el motor, bajo la influencia conjunta del flujo magnético y de la corriente rotórica, se engendra, en la periferia del rotor de radio R, una fuerza tangencial que hace girar el inducido a la velocidad de v revoluciones por minuto; es decir:

$$\frac{2\pi R v}{60}$$ metros por segundo, siendo la potencia,

$$P = F \times \frac{2\pi R v}{60} \text{ Kgm/segundo}$$

Se llama par o momento de rotación (M) al producto de la fuerza por el brazo de palanca, que en este caso es el radio del rotor:

Par = Fuerza × radio del rotor

De modo que la potencia será:

$$P = M \times \frac{2\pi V}{60} \text{ Kgm/segundo}$$

y la potencia en CV:

$$P = M \times \frac{2\pi V}{60 \times 75} = P = \frac{M \times v}{716} \text{ CV}$$

Dada la potencia en CV y la velocidad en r.p.m., el par será:

$$M = \frac{716 \times P}{V} \text{ mKg}$$

El par es una magnitud decisiva, hasta el punto de determinar las dimensiones del motor. Motores de igual par tienen aproximadamente las mismas dimensiones, cualquiera que sea su velocidad.

En el arranque, es decir, durante el intervalo en que el motor pasa de la velocidad cero a la nominal, el par toma distintos valores independientemente de la carga.

Es necesario distinguir algunos puntos notables de la curva del par, que se representa en la figura.

La potencia nominal del motor debe ser lo más parecida posible a la potencia necesaria de la máquina accionada. Un motor de potencia excesiva da lugar a una mayor intensidad de corriente durante el arranque; precisa, por consiguiente, fusibles mayores y mayor sección en los conductores, y resulta una explotación poco económica al ser el factor de potencia y rendimiento más bajos en las cargas parciales que a plena carga.

El motor absorbe de la red:

$$\text{La potencia activa (KW)} = \frac{\text{potencia entregada (KW)}}{\text{rendimiento}}$$

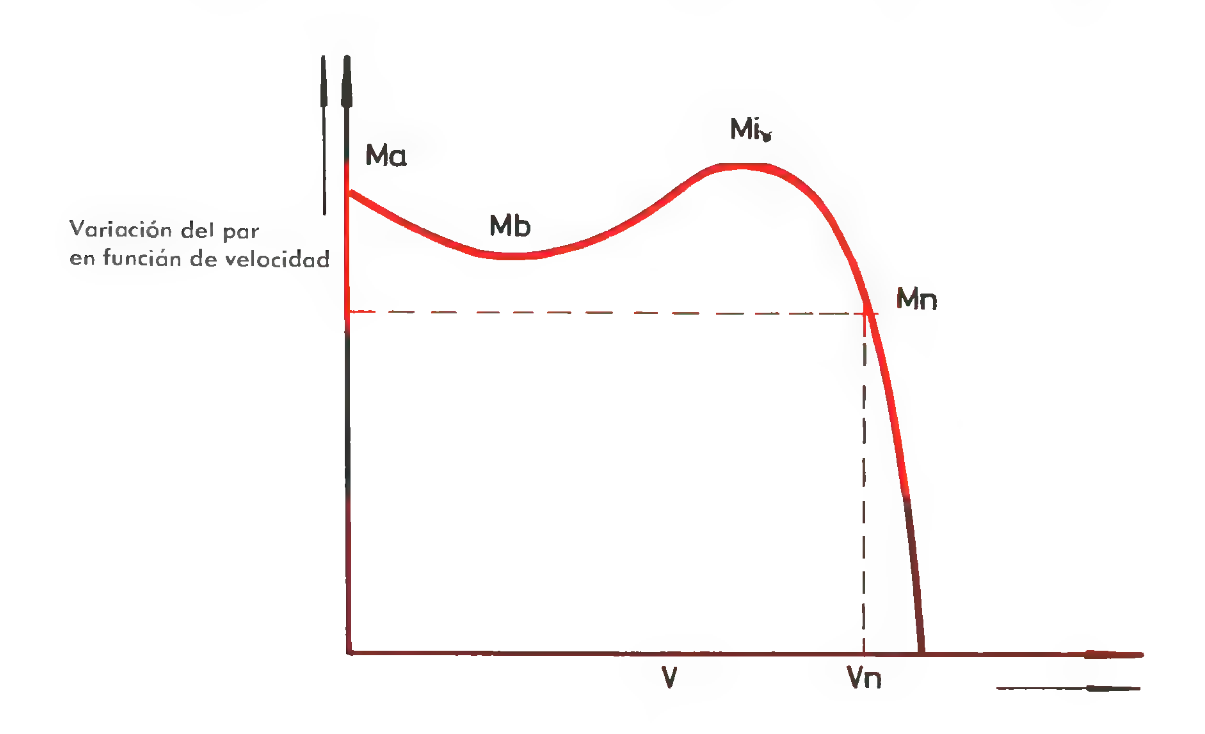
$$\text{La potencia aparente (KVA)} = \frac{\text{potencia entregada (KW)}}{\text{rendimiento} \times \cos\varphi}$$

$$= \text{Tensión de servicio (V)} \times \text{intensidad de corriente absorbida (A)} \times 1'73\ 1000$$

$$\text{La potencia reactiva } (KV_{ar}) = \frac{\text{potencia entregada (KW)} \times \operatorname{tg}\varphi}{\text{rendimiento}}$$

$$\text{La intensidad (A)} = \frac{\text{potencia absorbida (KW)} \times 1000}{\text{tensión de servicio (V)} \times \cos\varphi \times 1'73} =$$

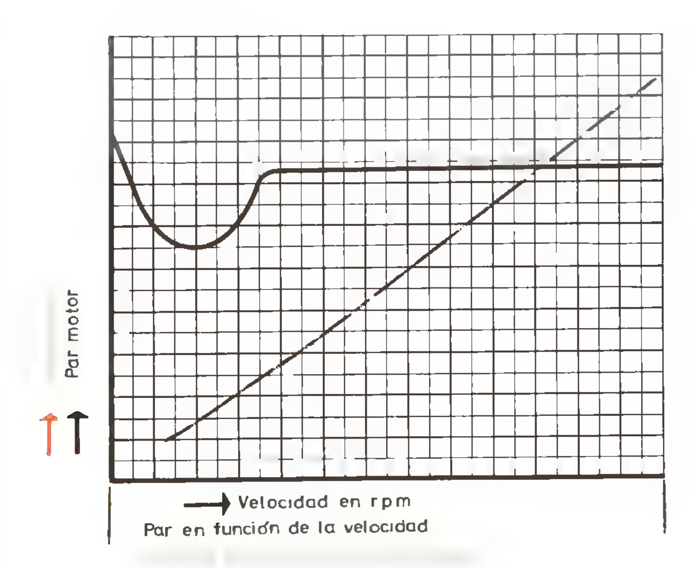
$$= \frac{\text{potencia entregada (KW)} \times 1000}{\text{tensión de servicio (V)} \times \text{rendimiento} \times \cos\varphi \times 1'73}$$



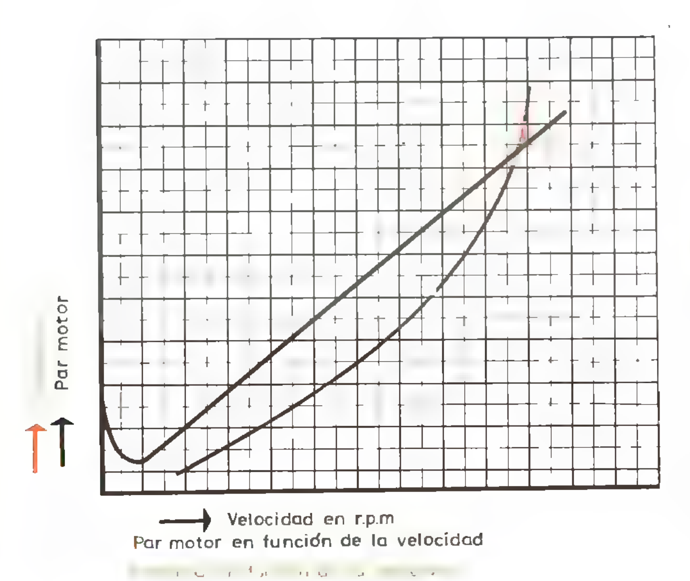
M_a. Par de arranque o par desarrollado en el momento de la conexión. — M_b. Par de bache o par mínimo durante el arranque. — M_i. Par de inversión o par máximo. — M_n. Par nominal. — V_n. Velocidad nominal.

Para la comprobación del proceso de arranque y frenado y para la elección de un motor de accionamiento, es necesario conocer el momento y la potencia que requiere la máquina en dependencia de la velocidad. A continuación damos las caracteristicas del par resistente y de la potencia en función de la velocidad para varias máquinas de trabajo:

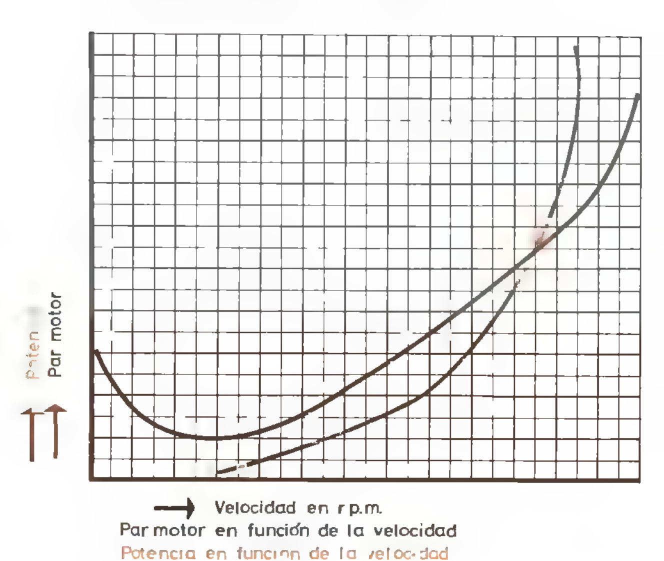
1. Par prácticamente constante, potencia proporcional a la velocidad. Este es el caso de las máquinas de elevación, bombas y compresores de émbolo al trabajar contra una presión constante, máquinas-herramientas con una fuerza de corte constante. Observando el gráfico, vemos que las líneas de par y potencia son prácticamente rectas.



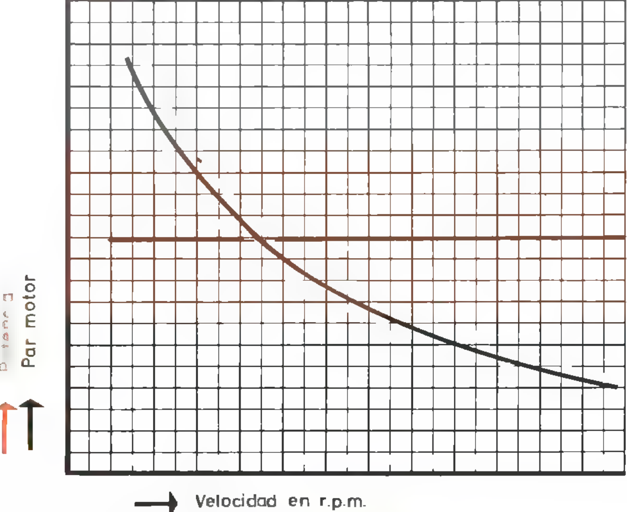
2. El par aumenta proporcionalmente a la velocidad; la potencia aumenta proporcionalmente al cuadrado de la velocidad.
Este es el caso de algunas máquinas, por ejemplo las calandrias. En el gráfico se observará que la característica del par es aproximadamente una recta, mientras la característica de la potencia es una parábola.



3. El par aumenta proporcionalmente al cuadrado de la velocidad, mientras la potencia lo hace con la tercera potencia de la velocidad.
Este es el caso característico de las bombas centrífugas, ventiladores y compresores centrífugos y de las máquinas de émbolo trabajando a circuito abierto. La curva de la potencia es una parábola cúbica.



1. El par es inversamente proporcional a la velocidad, mientras que la potencia necesaria es constante.
Este caso sólo puede ser tomado en consideración en los procesos de regulación. Se presenta en los tornos y máquinas herramientas similares, en máquinas bobinadoras y en descortezadoras de troncos.
En este caso la línea de pares es una hipérbola equilátera, mientras que la línea de potencias es una recta paralela al eje de las abscisas.



VARIACION DE LA TENSION Y DE LA FRECUENCIA DE LA RED, EN MOTORES TRIFASICOS CON DEVANADO NORMAL

a) Variación de la tensión a frecuencia constante. Todos los pares, especialmente el par de arranque y el par motor máximo, varían con el cuadrado de la tensión;

la intensidad de arranque varía proporcionalmente con la tensión. Con variaciones de ± 5 % de la tensión nominal, puede entregarse la potencia nominal.

b) Variación de la frecuencia a tensión constante. Los valores absolutos de los pares, especialmente del par de arranque y del par motor máximo, varían en razón inversamente proporcional con el cuadrado de la frecuencia; la intensidad de arranque varía de forma lineal inversamente proporcional con la frecuencia. Con variaciones de hasta ± 5 % de la frecuencia nominal, puede entregarse la potencia nominal.

c) Variación simultánea de tensión y frecuencia. Si varían la tensión y la frecuencia en el mismo sentido y, aproximadamente, en la misma proporción, varían las revoluciones y la potencia proporcionalmente con la frecuencia. El par resistente puede permanecer constante.

Pueden conectarse, por tanto, los motores con arrollamiento normal aun a redes cuya tensión y frecuencia se apartan de los valores indicados en la placa de características, dentro de los límites de la tabla siguiente, en la cual se indica también la variación de la potencia nominal.

FRECUENCIA HZ	CONEXION DE MOTORES CON ARROLLAMIENTO NORMAL A REDES de. 80 %	84 %	90 %	100 %	110 %	120 % DE LA TENSION NOMINAL
	POTENCIA EN % DE LA NOMINAL					
40	76	—	—	—	—	
42	76	80	—		—	—
45	78	82	88	—	—	—
50	80	84	90	100	—	
55	—	84	90	100	110	—
60	—	—	90	100	110	120

Las potencias determinadas según esta tabla son admisibles aun en casos en que la tensión o la frecuencia se apartan hasta un ± 5 % de los valores indicados en la tabla.

Los valores límites del calentamiento, pueden sobrepasarse en este caso hasta 10° C. La velocidad del motor varía proporcionalmente con la frecuencia.

Si se emplean motores con arrollamiento normal para tensiones o frecuencias anormales, varía el múltiplo del par de arranque y del par motor máximo para el motor normal, aproximadamente en la relación:

$$\frac{\text{\% de la potencia según tabla anterior}}{\text{\% de la potencia según tabla siguiente}}$$

Téngase en cuenta que el par motor nominal se deduce de la nueva potencia nominal y velocidad debida a los valores de servicio modificados.

SERVICIO DE CORTA DURACION

En el servicio de corta duración, el motor alcanza el calentamiento límite durante el tiempo de funcionamiento prescrito (10, 30, 60 minutos); la pausa tras el tiempo de funcionamiento debe ser lo suficientemente larga para que el motor pueda enfriarse hasta la temperatura ambiente.

SERVICIO INTERMITENTE

El servicio intermitente se caracteriza por períodos alternos de trabajo y pausa, durante los cuales el motor permanece bajo tensión y sin ella respectivamente.

Las normas alemanas sobre máquinas eléctricas difieren para la planificación de accionamientos intermitentes el concepto de "tiempo relativo de conexión" o factor de conexión, que está expresado por la relación entre la suma de los tiempos de trabajo para un ciclo y el tiempo total de duración del mismo. Es decir:

POTENCIA DE MOTORES CON AISLAMIENTO ANORMAL HASTA 600 VOLTIOS	
FRECUENCIA NOMINAL	POTENCIA EN % DE LA POTENCIA A 50 HZ
40	76
42	80
45	88
(50)	(100)
55	110
60	120

$$ED = \frac{\text{Tiempos de trabajo}}{\text{Tiempo de trabajo + pausas sin tensión}} \times 100;\ \text{en } \%$$

La duración total del ciclo no debe sobrepasar 10 minutos.

El caso más corriente de servicio intermitente es el accionamiento de los mecanismos de grúas.

En mecanismos de elevación de grúas en naves de montajes se emplean motores de 20 % ED, pues, teniendo en cuenta los períodos de marcha en vacío, se ha comprobado que resulta suficiente para las aplicaciones normales.

El 40 % ED se destina para grúas de gancho en fábricas siderúrgicas.

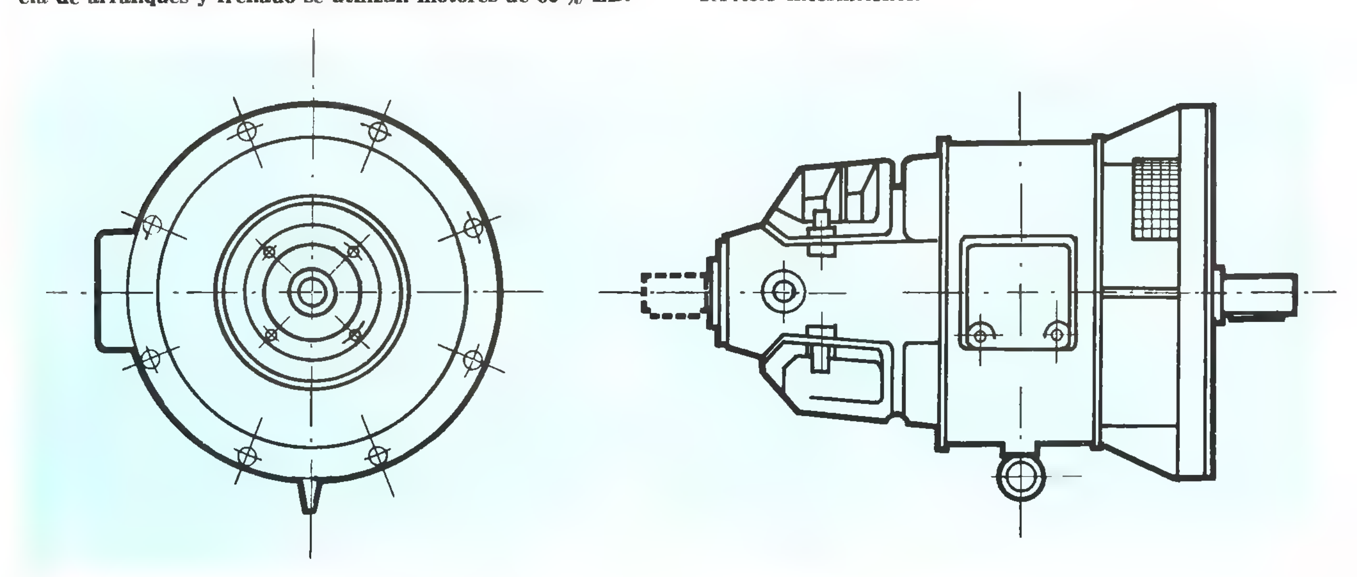
En grúas de gran altura de elevación y gran frecuencia de arranques y frenado se utilizan motores de 60 % ED.

Estos tres ED, o sea 20 %, 40 % y 60 %, son los tipos normalizados.

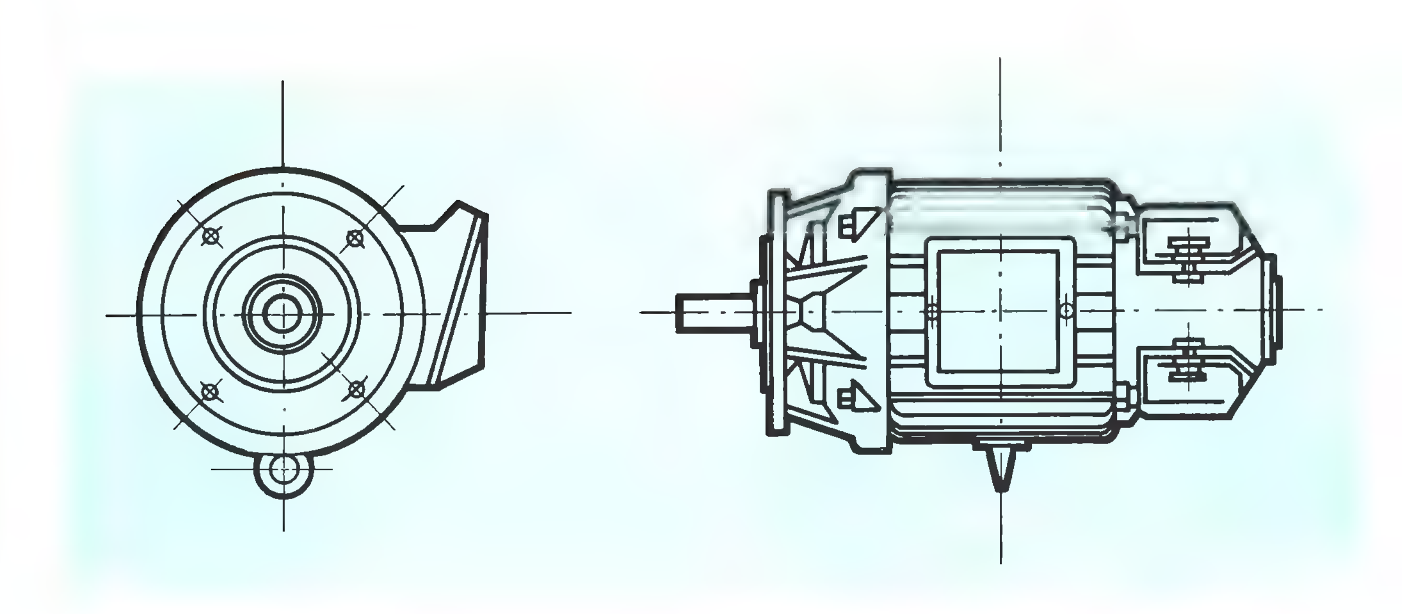
La elección de motores de anillos rozantes para servicio de corta duración se hará atendiendo las directrices siguientes (el servicio de corta duración se designa por KB):

20 % ED = 30 a 60 minutos KB (según tipos)
40 % ED = 60 a 90 minutos KB (según tipos)

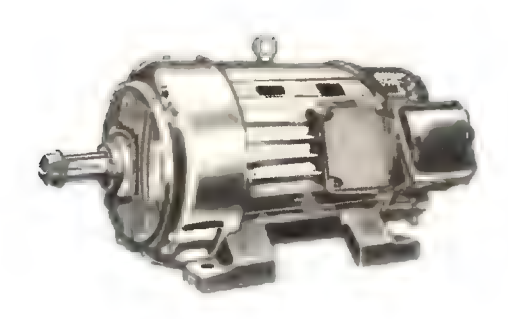
A continuación reproducimos algunos motores para servicio intermitente.



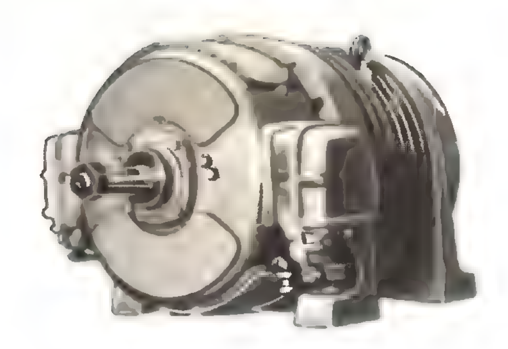
Motor trifásico. Servicio intermitente. Anillos para regulación de velocidades. Protegidos contra goteo y salpicaduras P12. Forma V1.



Motor trifásico. Servicio intermitente. Anillos para regulación de velocidad. Protección P33.



Motor cerrado por ventilacion exterior, rotor de jaula, protección P33, forma B3.



Motor protegido contra goteo y salpicaduras, rotor de anillos, protección P12, forma B3.



Motor cerrado con ventilación exterior, rotor de anillos, protección P33, forma B3.



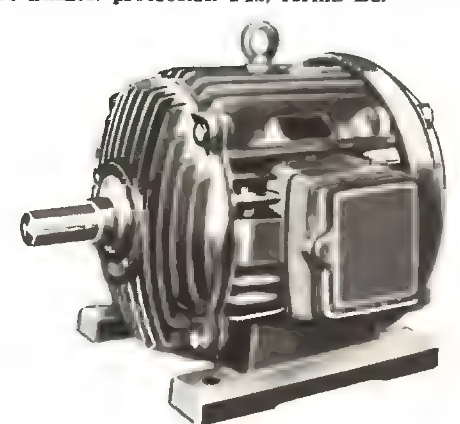
Motor protegido contra goteo y salpicaduras, rotor de anillos. protección P12, forma B3.

PROTECCION CONTRA AVERIAS

Por causas accidentales, los motores pueden sufrir averías que originan reparaciones costosas y, en algunos casos, perjuicios muy superiores al coste de la reparación por la paralización de la máquina que accionan. Para evitarlos aconsejamos la protección de los motores mediante contactores provistos de relés térmicos o mediante interruptores automáticos.

Al hacer un pedido de un motor eléctrico, deben facilitarse al constructor los datos siguientes:

1. Clase de máquina accionada.
2. Potencia efectiva que debe desarrollar el motor (CV).
3. Velocidad de la máquina movida (r.p.m.).
4. Clase de transmisión (acoplamiento elástico o rígido, sobre bancada común o separada, correa plana, trapezoidal, engranajes, tornillos sin fin, etc.).
5. Tensión entre fases de la red de alimentación (V).
6. Frecuencia de la red (períodos por segundo) y velocidad del motor (r.p.m.).
7. Rotor de anillos rozantes o de jaula.
8. Forma constructiva.
9. Clase de arranque deseado (conexión directa, estrella-triángulo, reóstato estatórico, reóstato rotórico, autotransformador, etc.).
10. Protección mecánica.
11. Regulación de velocidad (por reóstato rotórico en motor de anillos rozantes y escobillas fijas, por conmutación de polos en rotores de jaula).
12. Tiempo durante el cual se desea trabajar a la velocidad mínima en caso de anillos rozantes, con regulación.



anillos, protección P33, forma B3.
Motor cerrado sin ventilación exterior. rotor de

13. Par resistente de la máouina accionada (mKg).
14. Sentido de rotación de la máquina, mirado desde el lado del accionamiento: derecha, izquierda, reversible.
15. Frecuencia de arranques cuando el motor se ha puesto en marcha y parado a intervalos menores de dos horas. Indicar frenado eléctrico si lo hay.
16. Ambiente: indicar la temperatura si sobrepasa los 40° C. Menciónese el ambiente que contenga gases o vapores corrosivos, humedad o polvo, etc.

instalaciones 20

RECEPCION DE LOS MOTORES ELECTRICOS

Normalmente la casa constructora entrega los motores eléctricos después de ser ensayados en el bando de pruebas; por tanto están debidamente engrasados y no es necesario cambiar la grasa (salvo indicación del fabricante) hasta las 2500 horas de funcionamiento.

A la recepción de los motores, se procederá a una cuidadosa revisión del embalaje. Si está sensiblemente deteriorado se reclamará al fabricante, o a la compañía de seguros si la mercancía ha sido objeto de seguro de transporte.

Antes de poner en servicio un motor eléctrico, se comprobará su resistencia de aislamiento, utilizando para ello un megóhmetro de 500 voltios si el motor es de baja tensión. En caso de tratarse de un motor a alta tensión, el megóhmetro utilizado será de 1000 V. La prueba durará unos dos minutos. En caso de aislamiento bajo, se procederá al secado del motor. Los motores de pequeña potencia se secarán a la estufa, sin que la temperatura de los bobinados sobrepase los 90° C.

En máquinas de gran potencia, que por su tamaño es difícil secar a la estufa, se utilizará uno de los métodos siguientes:

1) Secado con corriente continua. Este método es aplicable a todas las máquinas de corriente alterna y se efectúa con la máquina parada.

Es preciso disponer de una alimentación de baja tensión y alta intensidad, por ejemplo, un grupo de soldadura. Las fases del estator se pueden conectar en serie o en paralelo. Es preferible tener corrientes equilibradas en las tres fases; pero en máquinas conectadas en estrella con sólo tres terminales, es necesario conectar dos fases en paralelo y éstas en serie con la tercera fase. En cualquier caso, la intensidad máxima por fase se limitará al valor necesario para alcanzar en el bobinado la temperatura de 90° medida por resistencia o detector de temperatura, o 75° C medidos con termómetro. El calentamiento debe controlarse de manera que la temperatura se alcance en un período de tiempo comprendido entre dos y seis horas. Siempre es preferible que este tiempo se acerque lo más posible a las seis horas. Al estar la máquina parada, la intensidad necesaria para alcanzar la temperatura deseada acostumbra ser del 25 al 50 % de la intensidad nominal de la máquina.

2) Secado por calor externo. Para el secado por calor externo se emplea un horno o serpentines de vapor encerrados conjuntamente en una caja con la máquina. Deben proveerse aberturas en la parte superior e inferior de la caja, para facilitar una adecuada ventilación, con el objeto de que la humedad se elimine con el aire caliente. En este caso no se sobrepasarán una temperatura de 85° C.

3) Secador de aire caliente. Empleando un secador de aire caliente, la temperatura máxima de entrada del aire será de 95° C. Para eliminar el riesgo de incendio causado por chispas, se coloca un deflector entre el calentador y la máquina.

EMPLAZAMIENTO DE LOS MOTORES

Los motores se montan, generalmente, sobre bancadas de fundición o de perfiles laminados o bien sobre cimentaciones fijas. Las cimentaciones fijas se construyen de hormigón, armado o sin armar, o de ladrillo. Las cimentaciones de grandes motores se construyen de acuerdo con los planos facilitados por el fabricante.

Nos limitaremos a dar unos consejos para las cimentaciones sencillas, destinadas a motores pequeños o medianos.

La cimentación será solida, y si la máquina es pesada llegará hasta terreno firme.

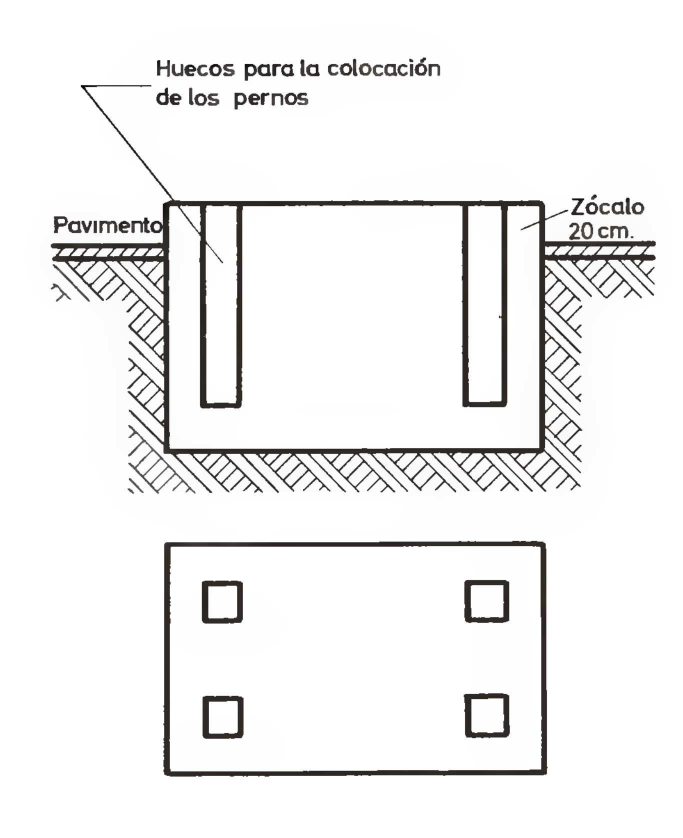
En su construcción debe tenerse en cuenta además del peso de la máquina su tipo de fijación.

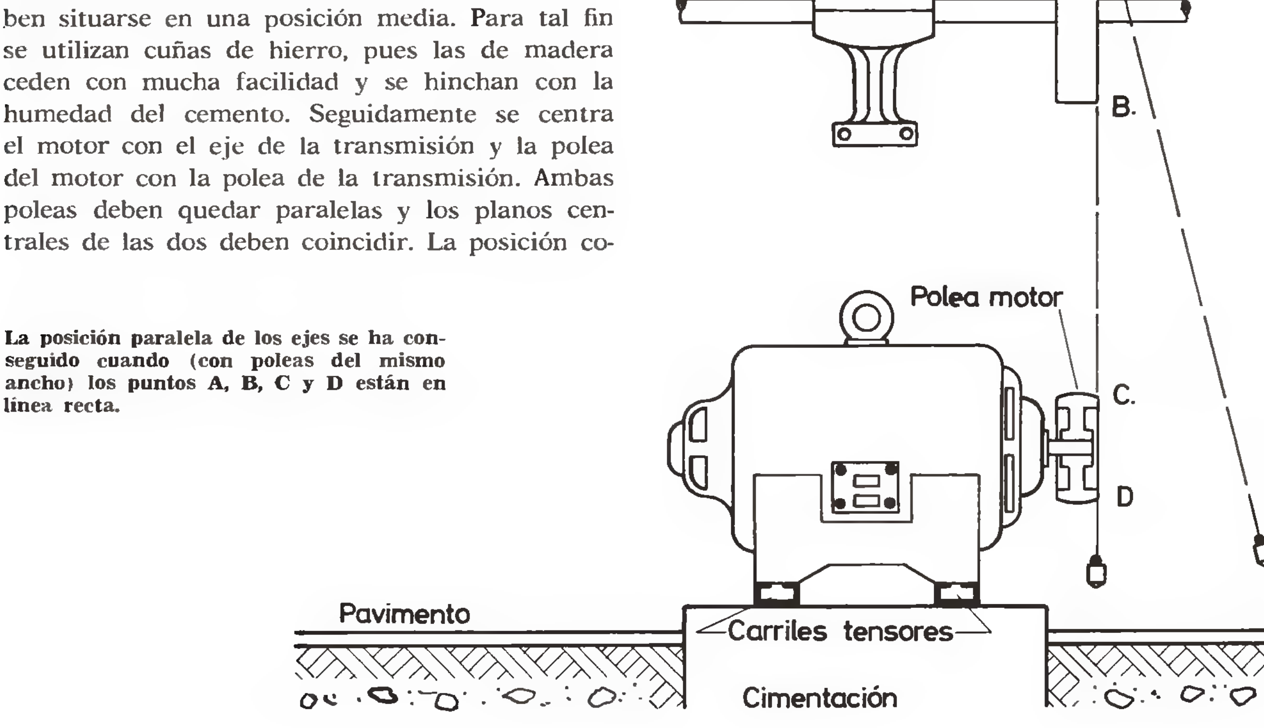
Es indispensable que los cojinetes y las partes de la máquina unidas al motor eléctrico queden sobre la cimentación. Cuando se trate de transmisiones por correa, la tensión de ésta debe ser absorbida por la cimentacion.

La figura reproduce una cimentación sencilla; sus medidas dependen del tamaño de la máquina y su profundidad de la firmeza del terreno. La cimentación tendrá un zócalo de 20 cm como mínimo por encima de la sala de maquinas. De esta forma se evita que la máquina llegue a mojarse en el caso de un escape de agua. Al hormigonar la fundación deben dejarse los huecos para la colocación de los pernos de fijación de la máquina; para ello es aconsejable dejar colocados cajones de madera, que no se retirarán hasta el momento de empezar a montar la máquina. Una vez centrada y nivelada la máquina, mediante cuñas de hierro, se la cementa con una mezcla bien fluida preparada con una parte de cemento Portland y una parte de arena.

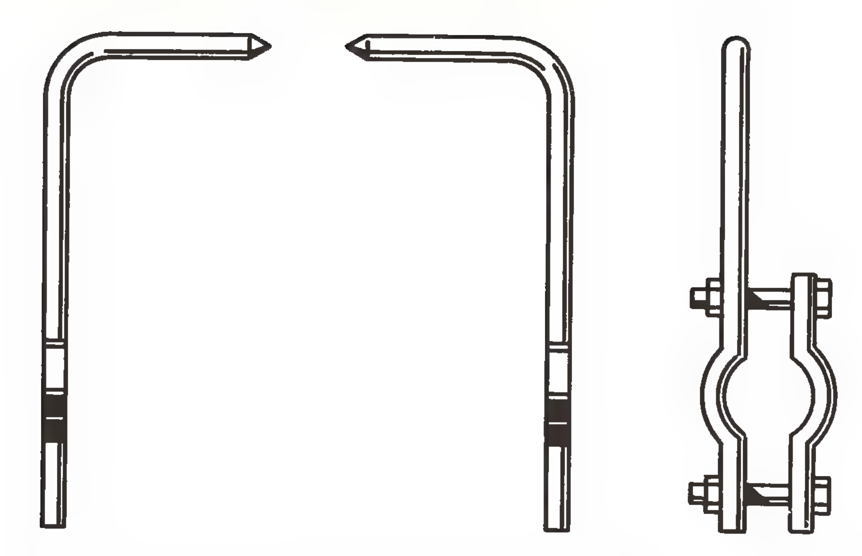
Al transportar el motor hasta su punto de montaje solamente se embragará por el cáncamo que, a este objeto, lleva en la parte superior de la carcasa. Para moverlo en sentido horizontal, se utilizará un lecho de tablones y rodillos, procurando que los desplazamientos se efectúen sin brusquedades.

Una vez situado el motor en el punto de montaje, se nivela y alinea con la máquina a la que debe acoplarse. Si el acoplamiento es por correa y polea, se coloca el motor sobre los carriles tensores, centrándolo y nivelándolo seguidamente, pero sin cimentar los pernos de los carriles. Para el nivelado, se coloca el nivel sobre la parte mecanizada de los carriles tensores, los cuales deben situarse en una posición media. Para tal fin se utilizan cuñas de hierro, pues las de madera ceden con mucha facilidad y se hinchan con la humedad del cemento. Seguidamente se centra el motor con el eje de la transmisión y la polea del motor con la polea de la transmisión. Ambas poleas deben quedar paralelas y los planos centrales de las dos deben coincidir. La posición co-



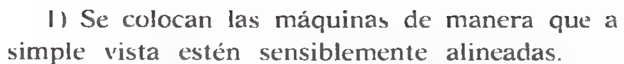


La posición paralela de los ejes se ha conseguido cuando (con poleas del mismo ancho) los puntos A, B, C y D están en línea recta.



rrecta se consigue cuando los planos de las coronas de las poleas son paralelos. La figura indica la posición correcta.

En muchos casos (para el acoplamiento de motores a bombas centrífugas o compresores rotativos, por ejemplo) se utilizan platos de acoplamiento elástico, con el objeto de impedir la transmisión de golpes. En este caso, para el centrado de las máquinas, los ejes de ambas deben situarse sobre una misma línea. Es decir: deben alinearse. Para ello se utilizan las herramientas representadas en la figura y se procede en la siguiente forma:

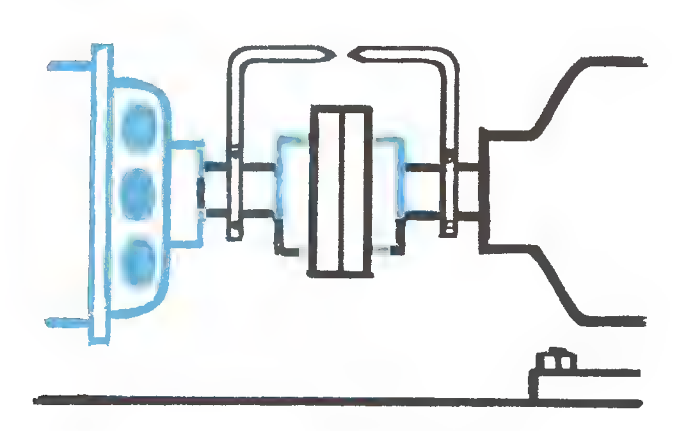


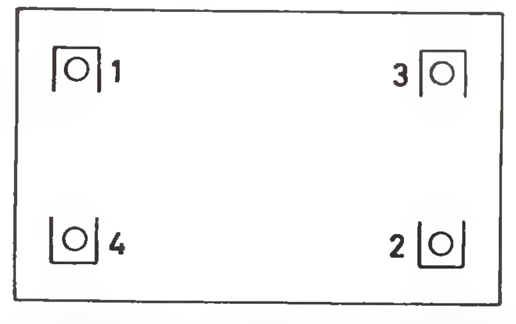
1) Se colocan las máquinas de manera que a simple vista estén sensiblemente alineadas.

2) Se montan las herramientas para el centrado de las máquinas directamente acopladas (véase figura), desplazándolas hasta que sus puntas estén casi en contacto.

3) Se hace girar el acoplamiento. Si la distancia entre punta y punta no varía y la posición recíproca de ambas puntas se mantiene durante el giro, la máquina está alineada.

Una vez alineada la máquina, se fija a la bancada, apretando los pernos. Esta operación se hará apretándolos en diagonal. (Véase figura.)



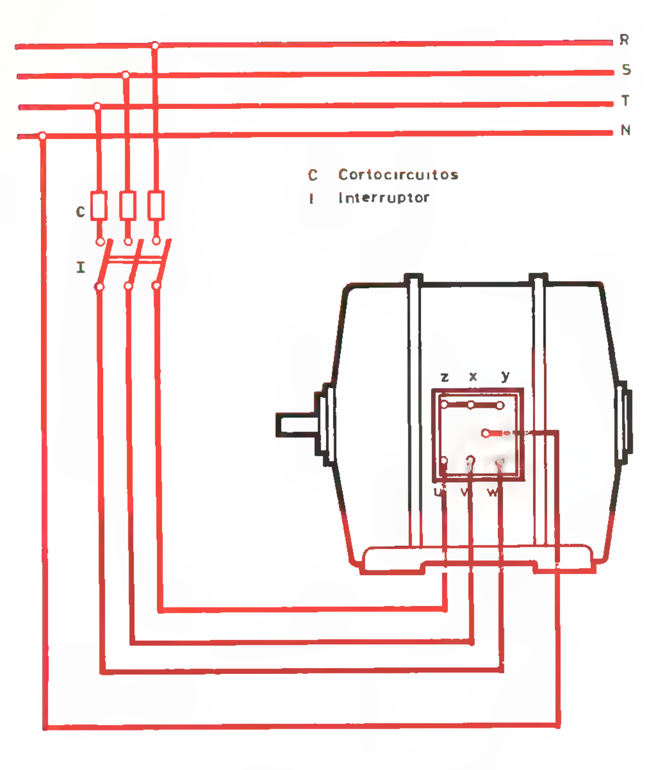


Orden a seguir al apretar los pernos que fijan un motor eléctrico sobre su bancada. Los números marcan el orden a seguir que pueden ser uno u otro según convenga. 1-3-2-4; 4-3-1-2; 3-4-1-2; 2-1-4-3; etcétera.

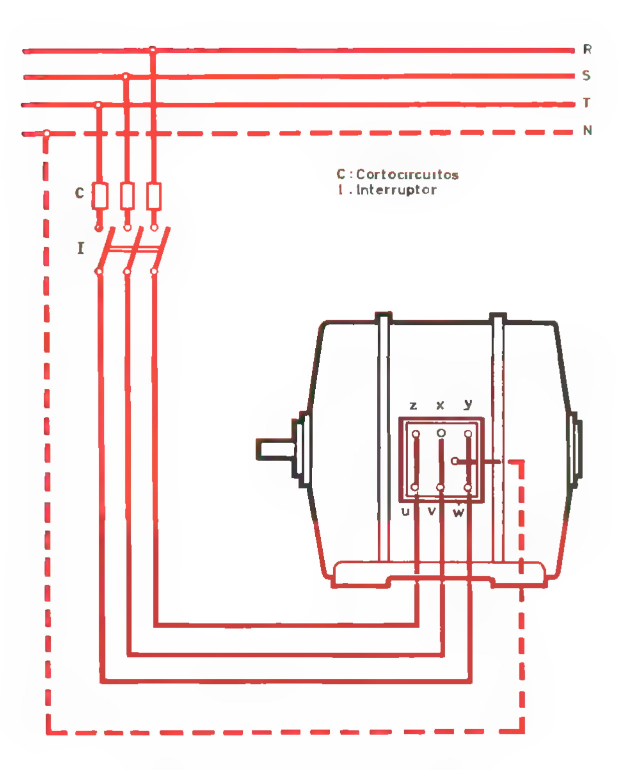
CONEXION A LA LINEA

La instalación eléctrica se hace de acuerdo con las normas y reglamentaciones que regulan las instalaciones industriales. La línea debe estar dimensionada de acuerdo con la potencia absorbida por el motor. Se disponen los aparatos de maniobra y protección convenientes de que más adelante hablaremos. Antes de conectar el motor a la red se comprueba si la tensión del motor es igual a la de la red. Normalmente los motores trifásicos se construyen para dos tensiones, 220 voltios y 380 voltios; para variarla sólo es preciso modificar la posición de tres puentes en la caja de bornes.

Los puentes de conexión en la caja de bornes



Conexión estrella (380 V).



Conexión triángnlo (220 V).

se conectan en triángulo para la tensión más baja y en estrella para la más alta.

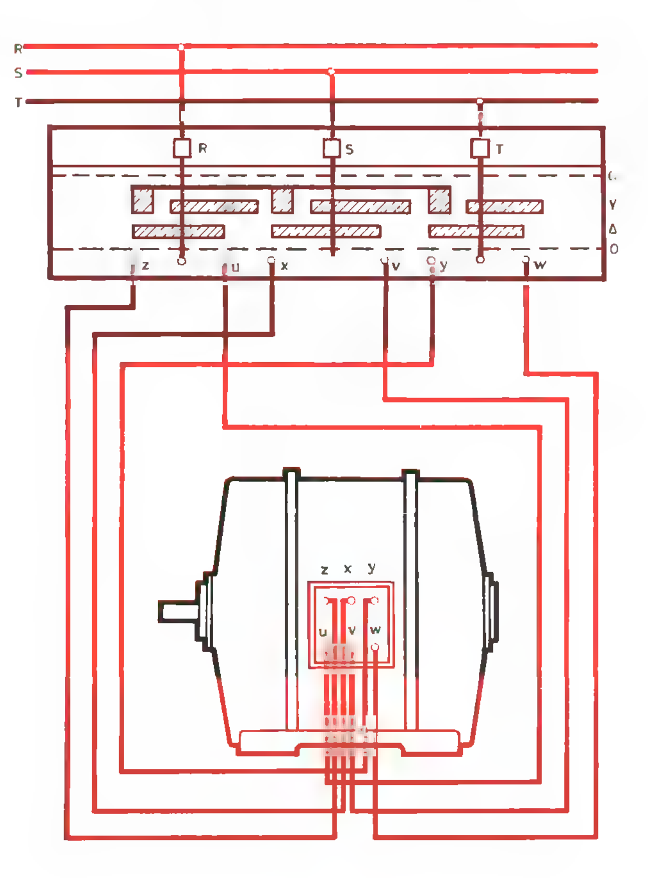
Por lo general los motores para dos tensiones se entregan conectados para la tensión más alta. Sin embargo, debe comprobarse la conexión antes de su puesta en servicio.

Para evitar golpes de corriente excesivos en motores de potencia superior a 5 CV y en acomedas a baja tensión, el arranque de los motores se hace con conmutadores estrella-triángulo. La conexión de un motor con arranque estrella-triángulo queda indicada en el esquema.

Para el buen funcionamiento de los motores es necesario que la tensión y la frecuencia se mantengan dentro de los límites siguientes:

Las variaciones de tensión estarán comprendidas entre +5 % y —10 % de la tensión nominal. Las variaciones de frecuencia estarán comprendidas entre ±5 % de la frecuencia nominal.

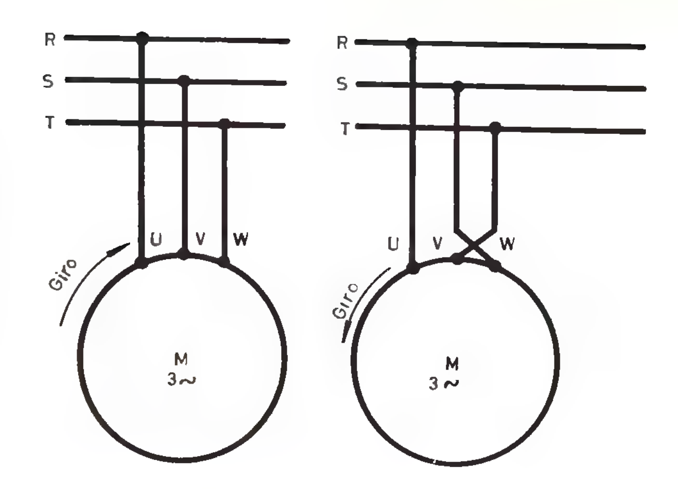
Los motores eléctricos se conectarán siempre a tierra, para lo que están provistos de un tornillo situado generalmente en la caja de bornes.



Conexión para arranque estrella-triángnlo. Conmutador manuai.

SENTIDO DE GIRO.

Una vez conectado el motor a la red se comprueba su sentido de giro desacoplándolo de la máquina. Si no es el correcto se debe intercambiar la conexión de dos de las tres fases, sea en el motor o en los aparatos de maniobra. Esta operación es suficiente para invertir el sentido del giro. Si el motor debe trabajar con cambios de sentido durante su funcionamiento, se utilizará un conmutador inversor manual o con contactores.



Cambio de sentido de giro de motor trifásico.

R
S
T
Red
220 ó
380 V
Pulsador triple
Luz indicadora de la desconexión por sobrecarga
INT
FUS.
R
S
T
O
Red
380
220V
INT
R S T b
El neutro comunicar con "b" y sacar puente "b-T" (bobina 220 V)
a b
R
S
T
a b
Botón de desbloqueo
Rele térmico
U
V
W
INVERSOR
M
3~

Inversor STARKSTROM con relé térmico.

EMPLEO DE APARATOS DE PROTECCION

Para proteger los motores contra sobrecargas, los contactores se equipan con relés térmicos. De esta forma se evitan las paradas por sobrecargas de poca duración y por las corrientes de arranque. Cuando el motor requiere tiempos de arranque prolongados se necesitan relés térmicos de sobrecarga, o conexiones que anulen los relés durante el arranque.

Los relés térmicos (acabamos de decirlo) protegen al motor contra sobrecargas; pero en caso de cortocircuito puede ocurrir que no lleguen a actuar, por causa de que la excesiva corriente que pasa por ellos los haya averiado. Para evitar que esto ocurra y proteger el motor contra cortocircuitos, se disponen fusibles antes del contactor.

En el caso de que no se utilicen relés térmicos para la protección de sobrecarga, los fusibles que se conectarán a la entrada del contactor son los de la tabla siguiente, en la cual se dan, además, las intensidades normales de los motores en función de la potencia y de la tensión.

Tabla de intensidades en amperios para motores con rotor en cortocircuíto

Potencia del motor		Cos	Rendimiento %	125 V			220 V			380 V			500 V		
				Intensidad	Fusibles para arranque		Intensidad	Fusibles para arranque		Intensidad	Fusibles para arranque		Intensidad	Fusibles para arranque	
KW	PS			A	Directo A	en λ Δ A	A	Directo A	en λ Δ A	A	Directo A	en λ Δ A	A	Directo A	ante λ Δ A
0,125	0,17	0.7	69,5	1,2	6	—	0.68	4	—	0,39	2	—	0,3	2	—
0,2	0.27	0,73	72,5	1,75	6	—	1	4	—	0,58	2	—	0.44	2	—
0,33	0,45	0,76	74,5	2,7	10	6	1,5	6	—	0,9	2	—	0,67	2	—
0,5	0,7	0,79	76,5	3,8	15	6	2,2	10	6	1,25	4	4	0,95	4	2
0,8	1,1	0,8	79,5	5,8	20	10	3,3	10	10	1,9	6	6	1,5	6	4
1,1	1,5	0,82	81,5	7,6	20	15	4,3	15	10	2,5	10	6	1,9	6	6
1,5	2	0,8	79,5	10,5	25	15	6,2	20	10	3,6	10	6	2,7	10	6
2,2	3	0,82	80,5	15,5	35	20	8,75	25	15	5,1	15	10	3,8	10	10
3	4	0,83	82	20,5	50	25	11,6	35	15	6,7	20	15	5,1	15	10
4	5,5	0,84	83,5	26,5	60	35	15	35	25	8,7	25	15	6,6	20	15
5,5	7,5	0,84	84,5	35,8	80	50	20,5	50	25	11,8	35	20	8,9	25	15
7,5	10	0,85	85	48	100	60	27,2	60	35	15,8	50	25	12	35	20
11	15	0,86	87	68	125	80	38,4	80	50	22,2	60	25	16,8	50	25
15	20	0,88	88,5	90	160	100	50,5	100	60	29,2	80	35	22,3	60	25
22	30	0,89	90	127	160	125	72	125	80	41,5	80	50	31,6	80	35
30	41	0,84	88	188	225	200	107	160	100	62	100	60	47	100	50
34	46	0,84	89	214	260	225	120	200	125	70,5	125	80	52,5	100	60
40	54	0,85	89,5	242	300	260	138	200	160	80,5	125	80	61	100	60
50	68	0,85	88	310	400	350	176	200	200	102	160	100	77,5	125	80
62	84	0,87	89	570	600	400	210	260	225	122	160	125	92,5	160	100

Las intensidades indicadas según la tensión de la red (entre fases) son las nominales por las cuales se regularán los relés térmicos, sin tener en cuenta la sobreintensidad de arranque. (Excepto en casos especiales.)

En arranque λ Δ (Relé en fase) amperios de relé = 0,58 × amperios del motor

Se recomienda emplear, además de los fusibles, otros aparatos de protección para el motor, dado que si se funde un fusible durante su marcha puede provocarse una sobrecarga en las otras dos fases capaz de originar serias averías.

EMPLEO DE APARATOS DE MANIOBRA

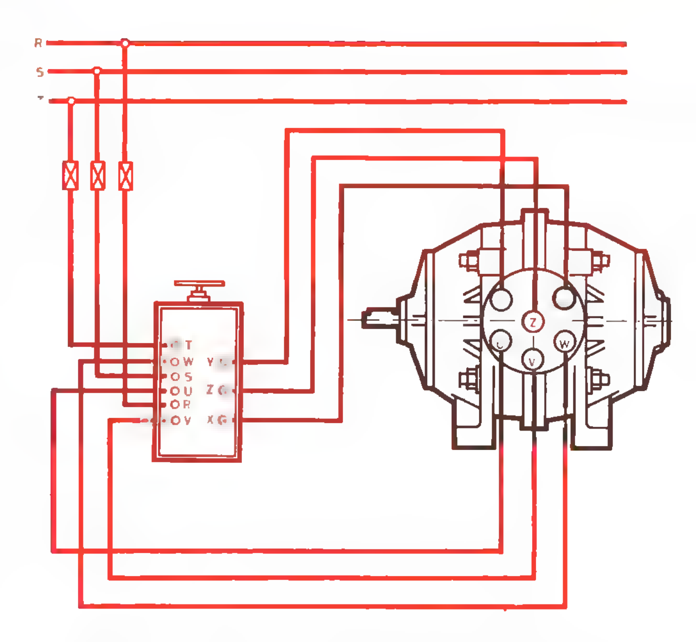
Si se requiere un arranque suave, o si por parte de las empresas suministradoras de fluido eléctrico existen prescripciones limitando la intensidad en el arranque, pueden utilizarse conmutadores estrella-triángulo. En este caso la intensidad de arranque y el par de arranque se reducen a un tercio aproximadamente de sus valores en conexión directa, lo cual significa que los motores deben arrancar, como máximo, con un tercio de su carga nominal.

Los conmutadores estrella-triángulo pueden ser utilizados conjuntamente con relés de protección de sobrecargas.

Para utilizar un conmutador estrella-triángulo para el arranque de un motor, es imprescindible que la tensión de la red corresponda a la tensión triángulo del motor.

Antes de poner un motor en marcha es necesario comprobar que no exista desequilibrio entre las tensiones de las tres fases, ya que éste podría ocasionar averías graves.

A continuación reproducimos varios esquemas, para el arranque de motores en estrella-triángulo.



Arranque de un motor mediante arrancador estrella-triángulo, manual

Red 220 ó 380 V
R
S
T
INT
FUS
Luz piloto
P
M
Luz indicadora de la desconexion por sobrecarga
Pulsador doble
Boton de desbloqueo
Rele térmico
Rele de tiempo (térmico)
Conmutador ⅄ Δ
RED 380/220 V
R
S
T
O
INT
FUS
El neutro comunicar con b y sacar puente b-T' (bobina 220 V)
R S T b

Conmutador estrella-triangulo con rele termico.

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Antes de conectar el motor por primera vez es conveniente asegurarse de nuevo de que se ha instalado de acuerdo con el esquema de conexiones. Además se comprueba si todos los tornillos de conexión están bien apretados; y lo mismo se hace con los de fijación de las patas del motor a la bancada. Se comprobará que las tapas de las cajas de los bornes estén colocadas y que no queda accesible al contacto casual ninguna parte del equipo sometida a tensión. Todos los interruptores y conmutadores estarán en la posición «desconectado». Una vez dada la tension de la red, y antes de poner en marcha el motor, se comprueba si las tres fases tienen tension. Para, ello, en los motores de mediana potencia y pequeña potencia, se instalará un voltímetro con su correspondiente conmutador, en el cuadro de maniobra, siempre que por razones económicas no se crea desacertado. Es aconsejable también la instalación de un amperímetro.

PUESTA EN MARCHA Y PARADA

Una vez efectuadas todas las comprobaciones indicadas en el párrafo anterior, se conectará el motor a la red. Los motores con arranque estrella-triángulo manual, se arrancarán pasando el conmutador de la posición 0 a la posición estrella vigilando el amperímetro cuando la intensidad tienda a estabilizarse después de haber descendido (el motor habrá alcanzado su número de revoluciones máximo en estrella) se pasará el conmutador rápidamente a la posición triángulo. En los arrancadores estrella-triángulo con contactores este cambio se hace automáticamente, previa la regulación del relé de tiempo, de que están provistos los arrancadores. Para la parada de los motores es suficiente pasar el conmutador rápidamente a la posición 0; si el conmutador es con contactores basta apretar el pulsador de paro, e igual ocurre si se ha utilizado un contactor para arranque directo.

PERTURBACIONES DE FUNCIONAMIENTO

A continuación, a título orientativo, damos una lista de las averías más frecuentes de los motores eléctricos y la manera de subsanarlas:

1) El motor funciona de forma irregular.	
Avería de los cojinetes.	Recambiar los cojinetes.
La caja del motor está sometida a tensiones mecánicas.	Aflojar los tornillos de la caja y volver a centrarla.
Plato de acoplamiento mal equilibrado.	Equilibrar el acoplamiento junto con el rotor del motor.

2) El motor no arranca. Interrupción en la línea.	Revisar los bornes y las líneas.
Tensión muy baja en los bornes.	Medir con voltímetro o lámpara de ensayo.
Contacto con la masa.	Medir el aislamiento con un Megóhmetro a 500 voltios.
Cojinete desgastado.	Desacoplar el motor y cambiar los cojinetes.
Defecto en el conmutador estrella-triángulo.	Revisar los contactos del conmutador.
3) Arranque a golpes. Contacto entre espirar en el arrollamiento inducido.	Rebobinar el inducido.
4) Motor trifásico. Arranca con dificultad, disminución del número de revoluciones al ser cargado. Tensión de la red demasiado baja.	Medir la tensión de la red y modificar, si es posible, la toma del transformador.
Caída de tensión en la línea de alimentación excesiva.	Aumentar la sección de la línea.
El estátor está mal conectado con el conmutador estrella-triángulo.	Revisar las conexiones en la caja de bornes.
Contacto entre espirar en el estátor.	Rebobinar el estátor.
5) Motor trifásico. Produce un zumbido intermitente y fluctuaciones de corriente en el estátor. Interrupción en el inducido.	Reparación del inducido.
6) Motor trifásico, arranca con dificultad o no arranca con la conexión en estrella. Demasiada carga.	Disminuir la carga o cambiar el motor por otro de más potencia.
Tensión de la red demasiado baja.	Revisar la red y líneas de entrada.
Los contactos del conmutador estrella-triángulo están quemados.	Reparar el conmutador estrella-triángulo.

7) MOTOR TRIFÁSICO, SE CALIENTA EN SEGUIDA Y EMPIEZA A ZUMBAR. Contacto entre fases. Contacto entre espiras. Varios contactos a masa.	Bobinarlo de nuevo.
8) EL ESTÁTOR DEL MOTOR TRIFÁSICO SE CALIENTA RÁPIDAMENTE Y SU CORRIENTE EN VACÍO ES ELEVADA. Estátor mal conectado.	Revisar las conexiones en estrella y en triángulo.
Contacto entre fases. Contactos a masa.	Nuevo arrollamiento.
9) EL MOTOR SE CALIENTA EXCESIVAMENTE. Exceso de carga.	Disminuir la carga o cambiar el motor por otro de mayor potencia.
Frecuencia de conexión y desconexión muy grande.	Emplear un motor con inducido de anillos rozantes.
Tensión demasiado elevada.	Sólo se admite un aumento de la tensión de un 5 % de la nominal.
Tensión excesivamente baja.	Revisar la tensión de la red y la sección de los conductores de entrada.
Falla una fase.	Localizar el punto de fallo con la lámpara de pruebas o el voltímetro.
Interrupción en el devanado.	Bobinar de nuevo.
Conexión equivocada.	Comprobar con el esquema de conexiones y rectificar conexionado.
Contacto entre espiras o cortocircuito entre fases.	Bobinar de nuevo.
Ventilación insuficiente.	Limpiar el motor de polvo, etc., dejando expeditos los canales de ventilación.
Inducido roza en el estátor.	Recambiar los cojinetes.
Cuerpos extraños en el entrehierro.	Desmontar y sacarlos.
La marcha no corresponde al régimen de marcha señalado en la placa de características.	Modificar el motor adaptándolo al régimen de marcha necesario.

CONSERVACION Y ENTRETENIMIENTO

Los motores eléctricos tienen muy pocas piezas sujetas a desgaste, por lo cual la conservación prácticamente se reduce a la limpieza y lubricación.

LIMPIEZA Y LUBRIFICACION

Antes de comenzar cualquier trabajo en los motores eléctricos, deben desconectarse de la red y retirar los fusibles para evitar que puedan ser puestos en marcha inadvertidamente, con el consiguiente peligro para el operario. La limpieza del polvo de los motores eléctricos se realiza mediante un fuelle o aire comprimido seco. En este último caso no se sobrepasarán 2'5 kg/cm² de presión, pues en caso contrario pueden dañarse los devanados. Es preciso poner especial cuidado en la limpieza de la protección y de los canales de aire, ya que es esencial para una buena ventilación del motor.

Los motores eléctricos, se fabrican en casi su totalidad con cojinetes de bolas o rodillos. El fabricante los entrega debidamente engrasados; y pueden funcionar en el estado en que se suministren durante 4800 horas los pequeños y 2500 horas los medianos y grandes, sin necesidad de añadir grasa. Es aconsejable, en el plan de conservación, hacer un cambio de grasa una vez al año, limpiando los cojinetes con gasolina, antes de rellenarlos de nuevo con grasa limpia. No deben mezclarse grasas de distinta fabricación, y se utilizará la marca indicada por el fabricante del motor.

Los anillos interiores de los cojinetes de bolas y de rodillos solamente se quitan del eje cuando deban cambiarse los cojinetes. Para montar los nuevos cojinetes se procede tal como se indica a continuación:

Los anillos interiores de los rodamientos se calientan con aceite o aire caliente hasta una temperatura de 80° C, calándolos luego sobre el eje. Se evitarán los golpes fuertes, pues de lo contrario se averiarán antes de ser utilizados. Antes de montar el cojinete se elimina con gasolina o benzo la grasa protectora contra la oxidación; a continuación se untan con grasa limpia los caminos de rodadura, cuerpos rodantes y la jaula. Las cajas de engrase solamente deben llenarse con grasa 1/2 ó 3/4 de su capacidad.

Cuanto un motor se deje fuera de servicio por largo tiempo, antes de ponerlo nuevamente en marcha se tomarán las precauciones siguientes:

1) Comprobación con un megóhmetro de la resistencia de aislamiento. Si la resistencia de aislamiento es baja, se procederá al secado del devanado.

2) Revisión de los cojinetes. Si la grasa se ha secado, se cambia por grasa nueva después de haberlos limpiado con gasolina.



CONSTRUCCION DE UN PEQUEÑO MOTOR UNIVERSAL

Después de este verdadero empacho de teoría que ha representado la electrotecnia de esta leccion, bueno será que nos dediquemos a confeccionar un pequeño motor eléctrico, tanto para reafirmarnos en la teoría elemental de su funcionamiento como para favorecernos con el descanso que representa para el intelecto una actividad de tipo manual.

CARACTERISTICAS

El que le proponemos construir es un motor universal para funcionar con una tensión de 4'5 a 30 V. Su consumo es de unos 0'8 A y su potencia aproximada es de 1/100 CV.

Como puede deducir se trata de un motorcillo de tipo experimental, cuyas aplicaciones debemos buscar en el campo de la juguetería. Sin embargo, dado que su velocidad de régimen es de unas 3000 r.p.m. cabe pensar en la posibilidad de utilizarlo para accionar las aspas de un pequeño ventilador a pilas. Describiremos punto por punto el montaje de esta maquina, dando referencias exactas del tipo de material a emplear y de la forma de sus varias piezas, asi como sobre la manera de ensamblarlas para la obtención de nuestro motor universal.

CONSTRUCCION DEL MOTOR

EL ESTATOR

En plancha magnética de 5/10 de mm deberemos obtener 18 piezas exactamente iguales a la plantilla representada en la figura 1. Los cuatro taladros que se indican deben tener un diámetro de 3'5 mm.

Una vez obtenidas las 18 chapas, procederemos a formar el empilado del estator, encarando los cuatro taladros y sujetando el paquete mediante cuatro espárragos rostados de 3 mm de diámetro y de 55 mm de longitud.

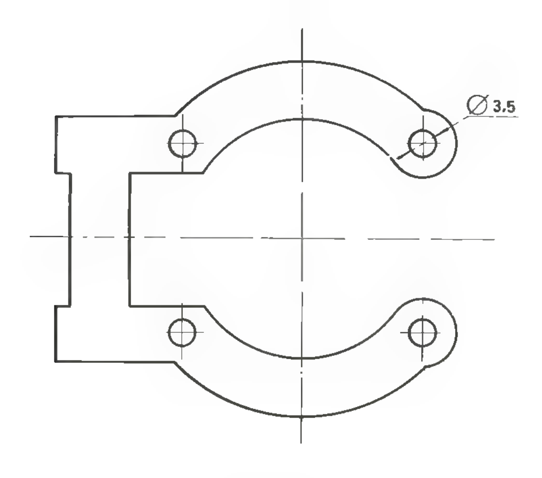


Fig. 1

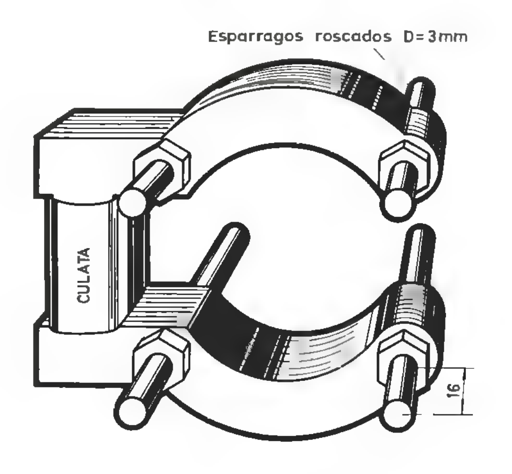


Fig. 2

Según muestra la figura 2, estos espárragos roscados deben sobresalir unos 16 mm del empilado según la posición de la figura.

Apretaremos fuertemente el paquete, que quedará comprimido entre los cuatro pares de tuercas roscadas a los espárragos. Con una lima de *media caña* y grano fino igualaremos las superficies interiores y exteriores del estator. Con tela esmeril daremos a la parte curva interior del paquete un acabado más perfecto

Finalmente, con cinta de papel autoadhesiva daremos tres o cuatro vueltas uniformes envolviento la culata del estator; sera la proteccion exterior de la bobina.

BOBINADO DEL ESTATOR

En papel presspan de 0'5 a 1 mm de grueso deberemos cortar dos piezas iguales a la plantilla de la figura 3. En una practicaremos los taladros *e* y *s* para la entrada y salida, respectivamente, de los cabos de la bobina estatórica.

Introduciremos la culata en el orificio central de las piezas antes descritas.

El aspecto que ofrece el estator con el carrete preparado se muestra en la figura 4.

Se trata ahora de enrollar en nuestro carrete 500 vueltas de hilo de cobre esmaltado de 3/10 de mm. Procure obtener una bobina lo más uniforme que pueda y preocúpese por que los orificios de entrada y salida queden bien señalados. Esta precaución tiene por objeto facilitar que después el bobinado del rotor se haga con la misma dirección que siguen las espiras del estator.

Terminada la bobina (vea la figura 5), la recubriremos con unas vueltas de papel parafinado (o con un papel cualquiera si no disponemos del primero) a fin de proteger el esmalte de las espiras exteriores. Con barniz de goma laca impregnaremos concienzudamente toda la bobina inductora, con lo cual evitaremos la entrada de polvo y humedad y fijaremos al mismo tiempo la posicion de las espiras.

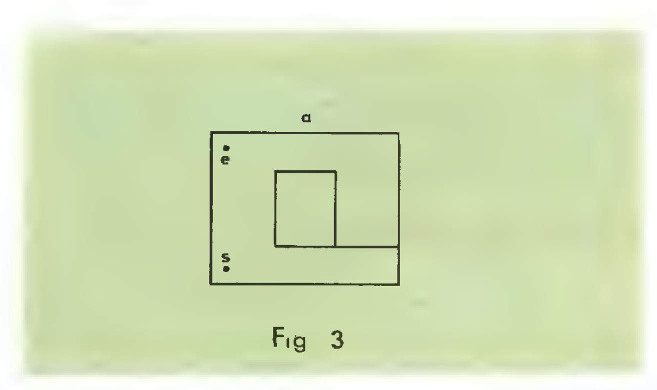
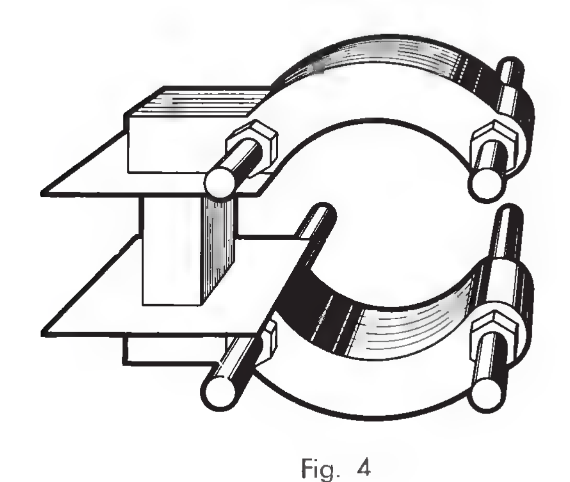


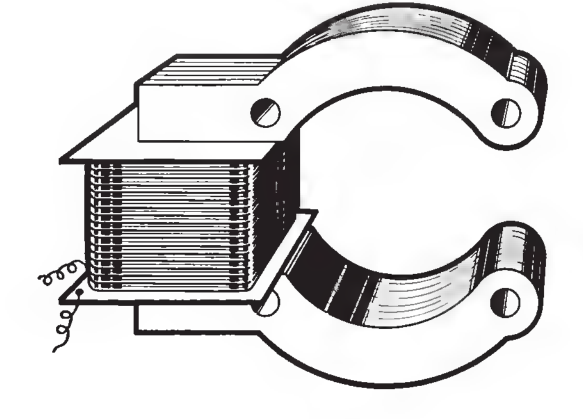
Fig 3

Compruebe ahora el aislamiento y continuidad de esta bobina. Para comprobar el aislamiento nos serviremos de un comprobador de circuitos, actuando según muestra la figura 6. Si la bombilla se enciende es señal evidente de que hay algún contacto entre la bobina y el empilado del estator, en cuyo caso deberemos proceder a la confección de una nueva bobina.

Para comprobar la continuidad de la bobina proceda de acuerdo con la figura 7. Si la bobina no se ha cortado la bombilla se encenderá; en caso contrario la bobina no servirá para nuestros fines

Si todo ha salido a la perfección, felicidades. En caso contrario, mucha paciencia y procedamos a bobinar de nuevo el inductor.


Fig. 4


Fig. 5

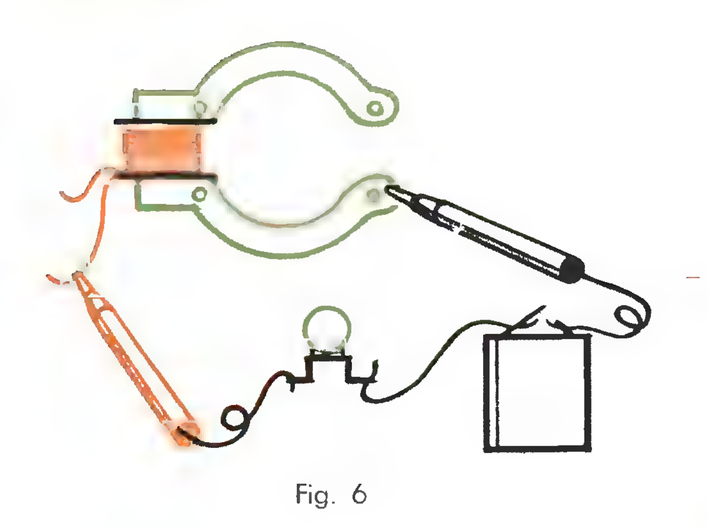


Fig. 6

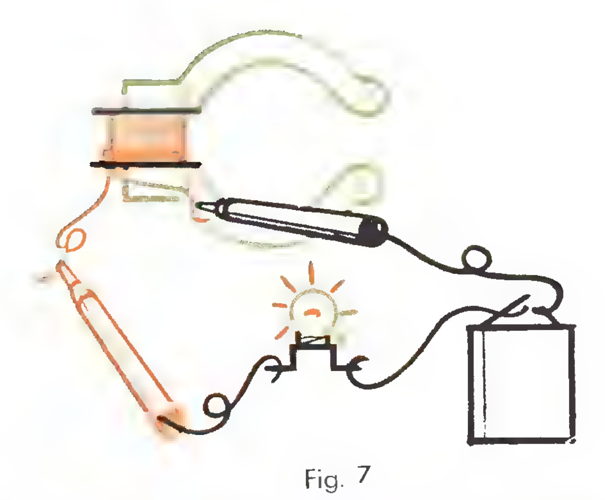


Fig. 7

EL ROTOR

El rotor de este motor está formado por 18 chapas de 5/10, cortadas de acuerdo con la plantilla que se ofrece en la figura 8. Obtenidas las 18 piezas, cuyo taladro central debe tener 5 mm justos de diámetro, las empilaremos remachándolas fuertemente por sus tres taladros más exteriores. Formado el paquete, lo introduciremos con apriete en un eje obtenido con 10 cm de varilla de hierro calibrada de 5 mm de diámetro. El empilado del rotor debe colocarse de forma que por uno de sus lados queden unos 4 cm de eje. El eje debe quedar completamente solidario del rotor; es decir, el paquete y su eje deben comportarse como si se tratase de una sola pieza. En la figura 9 tenemos el aspecto que ofrece el rotor antes de bobinarlo.

En cada uno de los núcleos practicaremos dos o tres vueltas de papel autoadhesivo.

Corte ahora seis piezas de cartón siguiendo la plantilla de la figura 10 e introduzca dos de ellas en cada uno de los núcleos polares, haciendo que la pieza más cercana al eje lleve los correspondientes agujeros para la entrada y salida del hilo de las bobinas. Vea en la figura 11 un carrete listo para recoger el hilo de cobre.

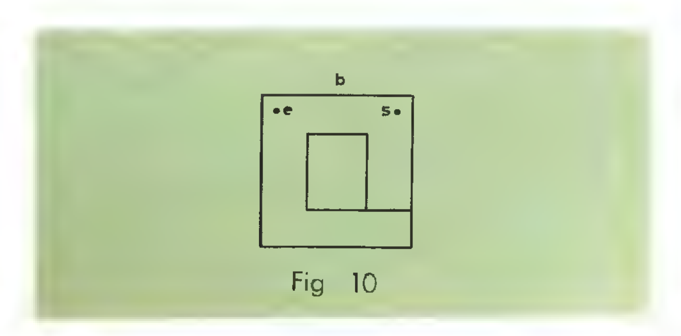


Fig 10

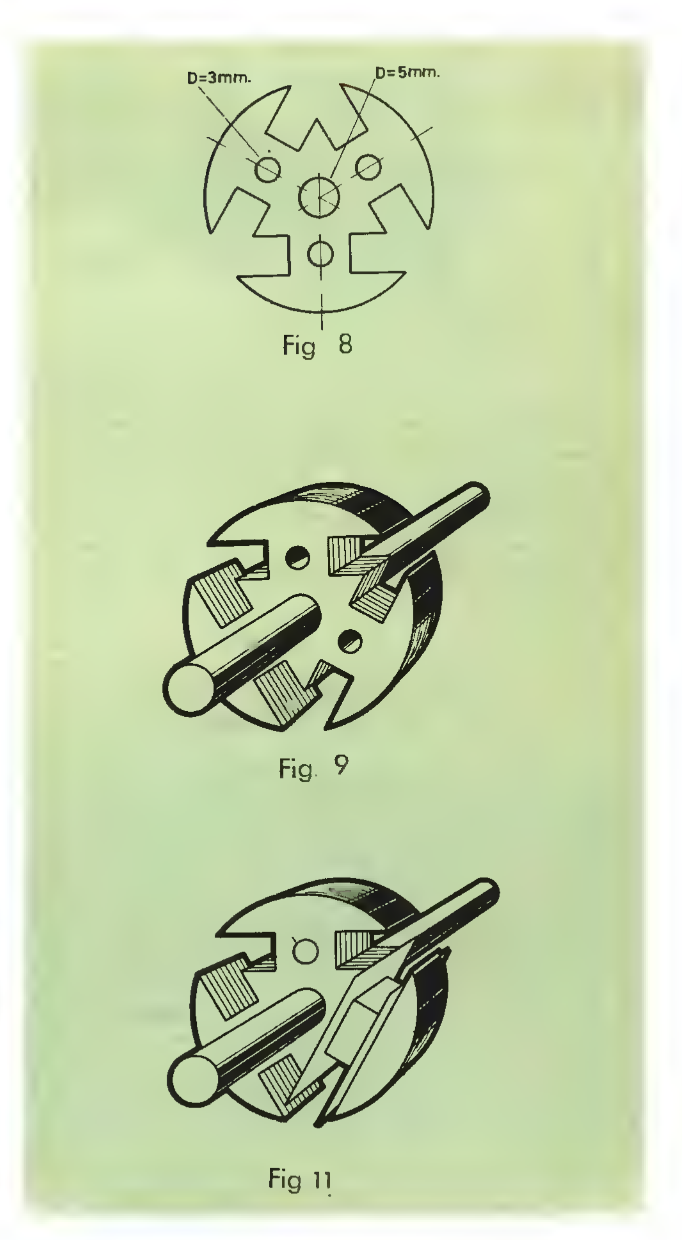


Fig 8

Fig. 9

Fig 11

BOBINADO DEL ROTOR

En cada uno de los tres carretes del inducido devanaremos de 165 a 200 vueltas de hilo de cobre esmaltado de 3/10 de mm, teniendo presente que todas las espiras deben bobinarse siempre EN EL MISMO SENTIDO. Marcaremos con cuidado y sin error el cabo de entrada y el de salida de cada bobina y tomaremos todas las precauciones y cuidados que se han explicado al tratar del bobinado del estator. Comprobaremos la continuidad y el aislamiento de las bobinas y procederemos también a impregnarlas perfectamente con el barniz laca.

La figura 12 es una vista frontal del rotor. Observe que hemos unido entre sí los cabos de entrada y salida de dos bobinas contiguas. Para ello, claro, habremos tenido la precaución de quitar el esmalte que recubre estos extremos de bobina. Soldaremos con una gotita de estaño cada una de las uniones terminales.

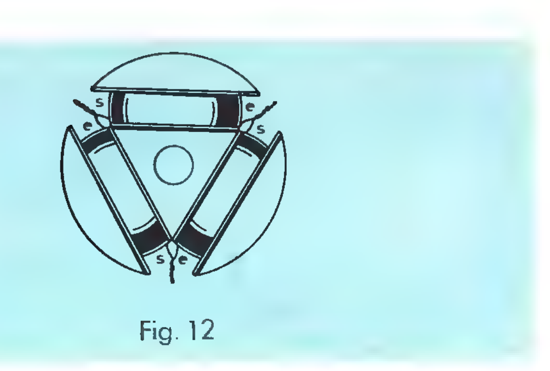


Fig. 12

EL COLECTOR

Vamos a describir el elemento que en mayor grado contribuirá al buen o mal funcionamiento de este motor: se trata de su colector.

La figura 13 explica gráficamente cómo estará constituido este elemento. La pieza *a* es de cartón recio (mejor si es cartón prensado). Cortaremos dos piezas iguales. La pieza *b* es una lámina de latón, que podemos cortar aprovechando un culote de bombilla o un portalámparas viejo previamente aplanado a golpes de martillo.

Las piezas *b* (tres en total) deben adquirir la curvatura que señalan las piezas *a*, lo que podemos conseguir apretándolas sobre cualquier tubo o pieza cilíndrica cuyo diámetro sea el que requerimos.

Las pestañas de estas pequeñas planchas de latón encajarán en los agujeros correspondientes de las piezas *a*, de forma que las tres pestañas largas queden a un mismo lado del colector, tal y como se demuestra en la figura 13. Estas pestañas largas son las que emplearemos para conectar los tres cabos únicos que han quedado en el inducido.

Debemos entrar el colector sobre el eje del rotor por la parte más corta del mismo, procurando que cada una de las delgas quede perfectamente enterrada por una de las bobinas, detalle importantísimo para el correcto funcionamiento de la máquina.

Una con un punto de soldadura cada terminal de bobina con la pestaña larga del colector más cercana a él. Con esta operación hemos terminado toda la parte rotórica del motor que construimos. Vea la figura 14.

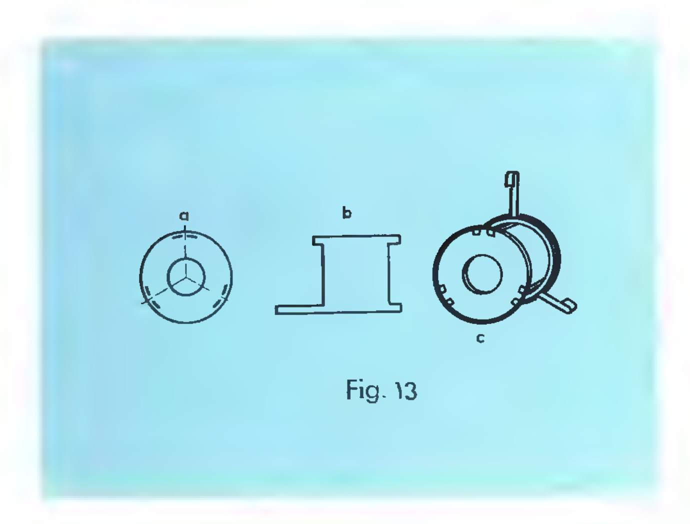
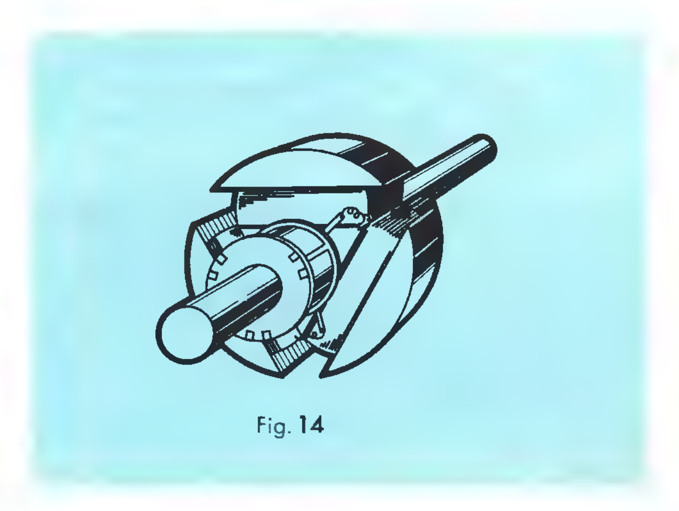


Fig. 13


Fig. 14

LOS SOPORTES

El rotor y el estator mantienen su posición relativa gracias a los soportes de plancha de hierro de 1'5 mm cuya forma está dibujada en la figura 15. Deberá ensanchar el taladro central hasta conseguir el diámetro suficiente para que entre con apriete un casquillo de latón o de bronce, cuyo diámetro interior sea de 5 mm, para que en él pueda rodar el eje del motor sin holgura pero con el mínimo de fricción.

Los dos soportes que necesitamos se doblaran en ángulo recto por la arista que en la figura 15 se indica con una línea de trazos.

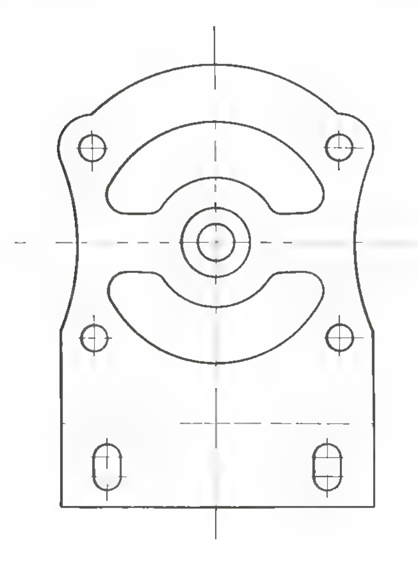
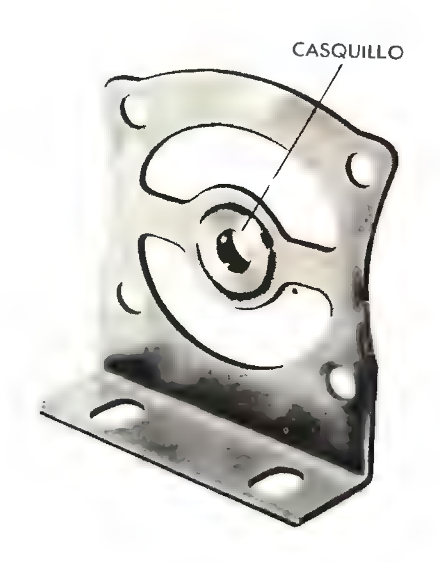


Fig 15



MONTAJE DEL CONJUNTO

Las fotografías que siguen muestran con claridad como se acoplan las distintas partes del motor, por lo cual nos abstenemos de dar una descripción literal y detallada de dicho montaje.

Añadiremos, eso sí, que es de capital importancia que el eje del motor quede perfectamente centrado a la circunferencia que describe la silueta del estator. De otra forma serían inevitables los roces de las masas polares del rotor contra la superficie interior del estator.

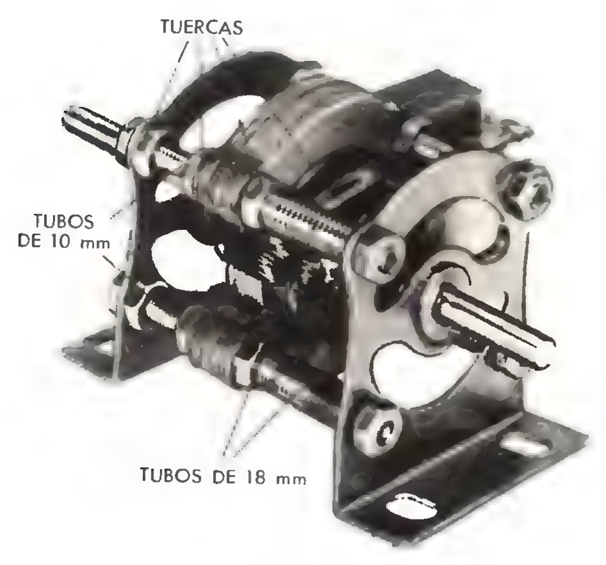


Fig. 16

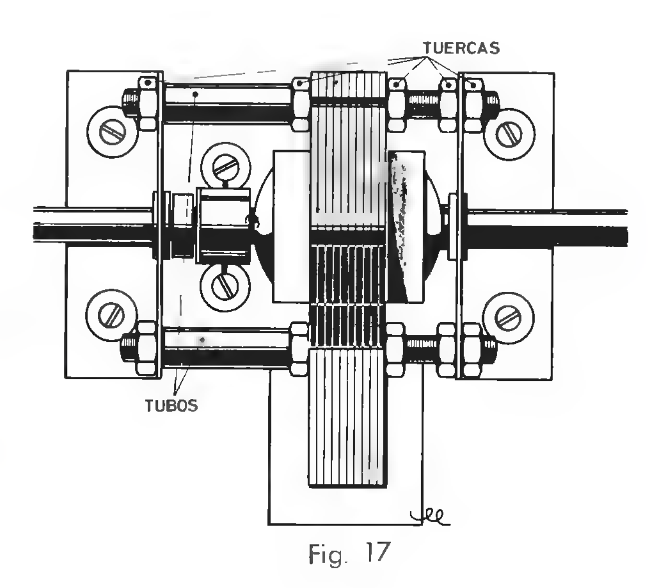


Fig. 17

LAS ESCOBILLAS

Lo más práctico es hacer las escobillas con hilo de cobre de unas 5/10 de mm, y además hacerlas dobles para tener seguridad de que en todo momento establecerán correcto contacto con las delgas del colector.

La figura 18 le enseña cómo conseguir las escobillas; pero le advertimos que es casi seguro que una vez montadas sobre el apoyo del motor deberá rectificar su posición respecto al colector, así como estudiar el grado de presión que debe ejercer sobre el mismo. Debe ser usted quien sobre la marcha vaya retocando la forma de las escobillas hasta conseguir de ellas el máximo rendimiento.

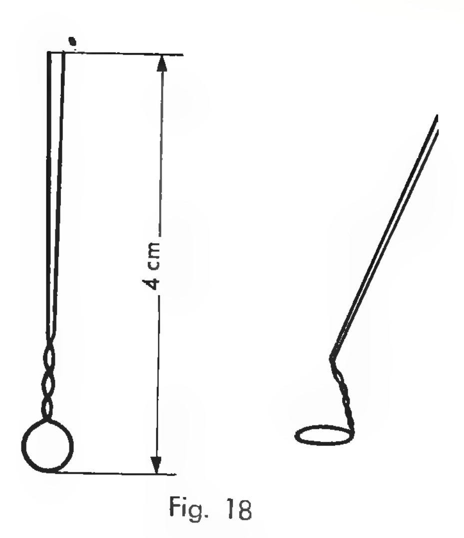


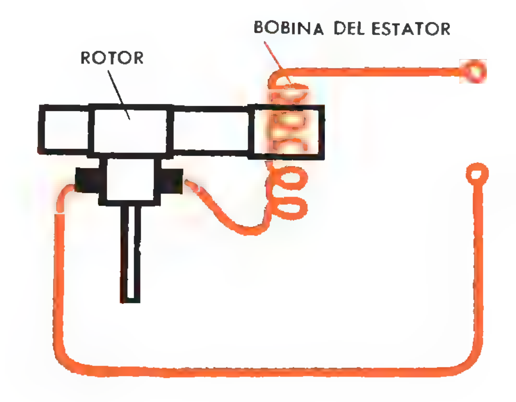
Fig. 18

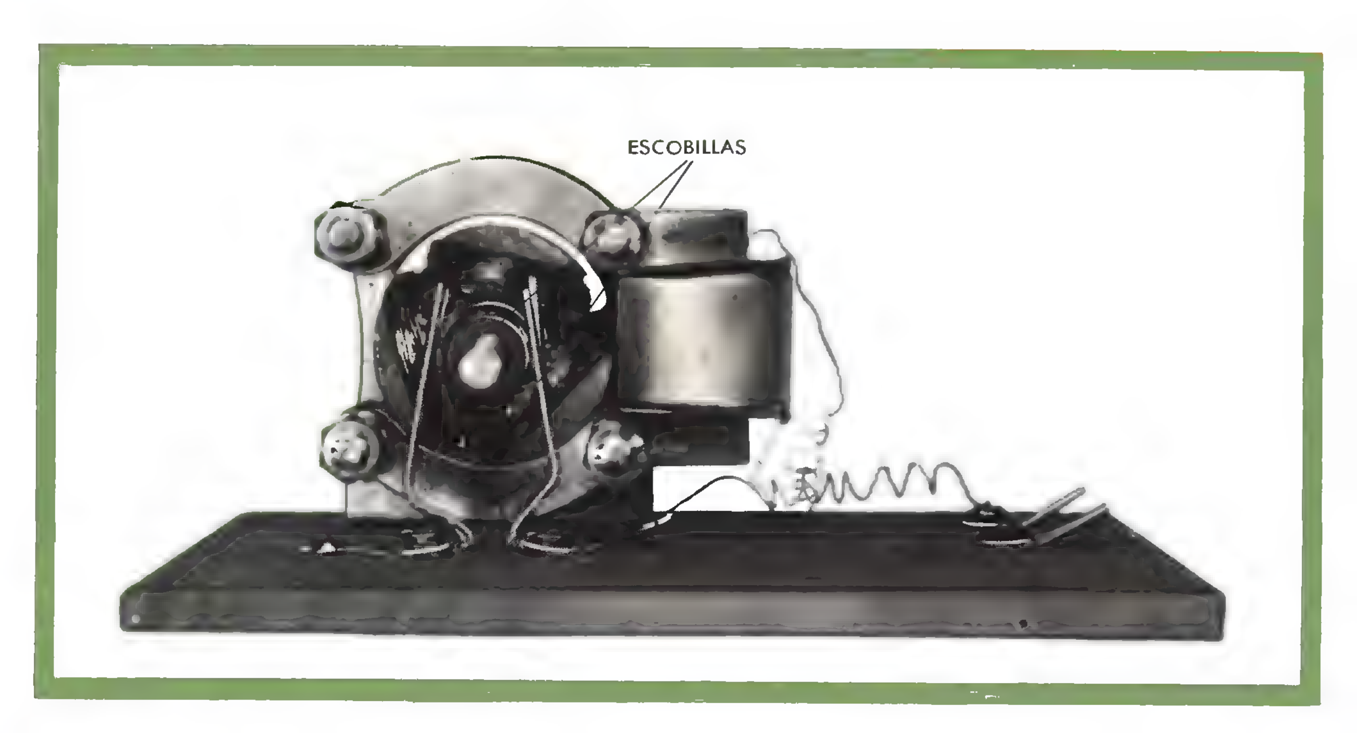
CONEXIONES FINALES Y APOYO

Cortaremos un tablero de madera, cuyas dimensiones aproximadas pueden ser de 12 × 10 × × 1 cm; sobre él sujetaremos las delgas y todo el cuerpo del motor, según puede ver las fotografías adjuntas.

Debe efectuar las conexiones siguiendo el esquema que añadimos, en el cual se aprecia perfectamente que todos los devanados quedan conectados en serie.

Listo el montaje pondremos una gota de aceite en los rodamientos y en el colector para asegurarnos que los roces serán los menos posibles.





Aplicaremos a los bornes del motor una tensión continua o alterna comprendida entre 4'5 y 30 V. El transformador descrito en nuestras lecciones puede servir magníficamente para estos fines. Pero puede ocurrir que a pesar de haber seguido al pie de la letra las indicaciones de este capítulo el motor no quiera ponerse en marcha. En este caso, repase todas las conexiones y sobre todo la posición de las escobillas con respecto al colector y la del colector con respecto a los bobinados del rotor.

Se trata de un motor muy robusto por su construcción, que con pocos cuidados tiene que funcionar.



APENDICE 1º

TALLER MECANICO

Herramientas y operaciones del torno

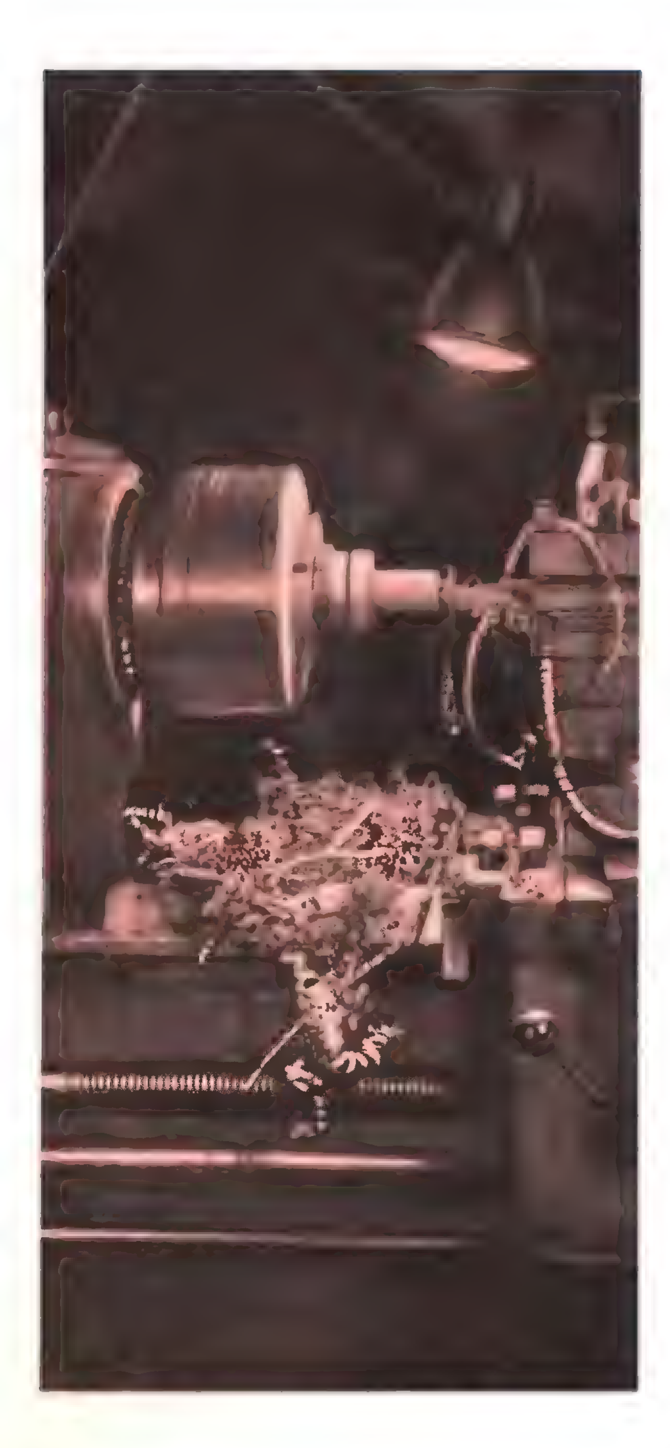
Formas y notaciones DIN

Afilado de herramientas



LECCION Nº 7

HERRAMIENTAS Y OPERACIONES DELTORNO



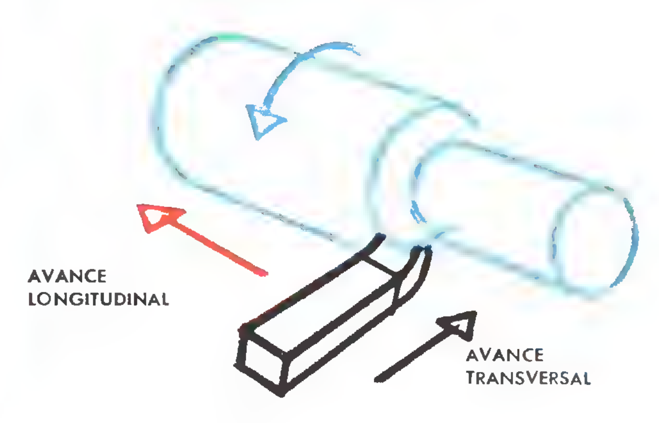
El torno, como toda máquina herramienta que actúe por arranque de viruta, necesita de herramientas especiales en forma de cuña cuyo filo; al introducirse en la pieza a mecanizar y debido a los movimientos que la máquina le imprime, saca una viruta continua de sección proporcional a la potencia del torno.

Las operaciones características del torno tienen nombres especiales usuales en el taller. Empezaremos por conocer el significado de tales nombres, cosa que resultará muy fácil gracias a los gráficos que acompañan las siguientes definiciones.

Avance longitudinal y avance transversal

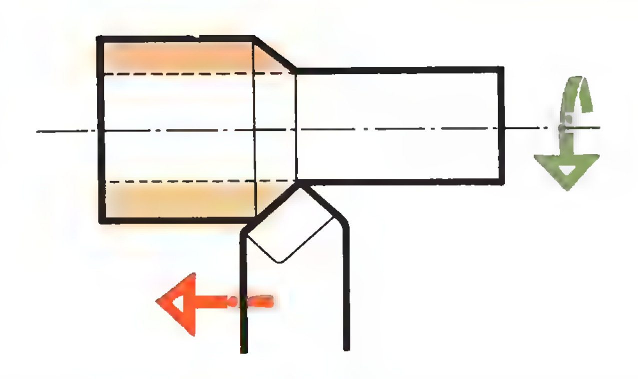
El cabezal del torno imprime a la pieza un movimiento de rotación, mientras la herramienta, según convenga, puede tener dos movimientos de avance; uno en el sentido del eje de la pieza en rotación y otro perpendicular a este eje. El primero será un *avance longitudinal*; el segundo un *avance transversal*. Gracias a estos movimientos de pieza y herramienta, el torno puede CILINDRAR, REFRENTAR, MANDRINAR y TRONZAR.

Veamos en qué consisten estas operaciones.



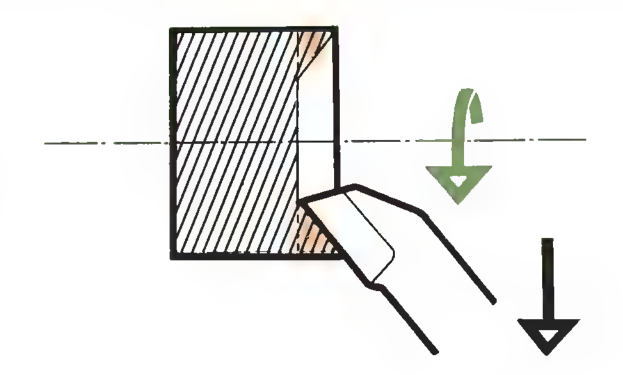
Cilindrar

La figura expresa con claridad la naturaleza de esta operación: obtener un cilindro de menor diámetro a partir de una pieza con un diámetro mayor. En el dibujo se indica en color lo que sería el material sobrante.



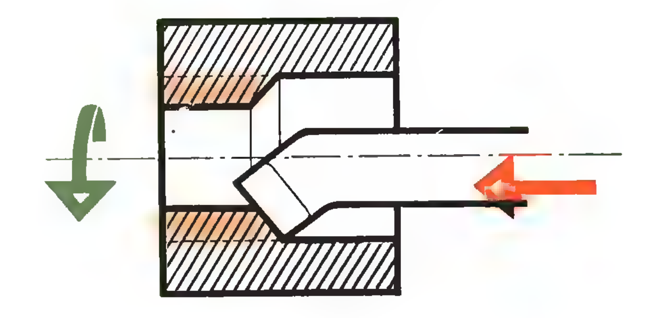
Refrentar

Esta operación puede definirse diciendo que es aquel proceso que permite obtener un frente perfecto en la pieza trabajada. Se consigue gracias a un retroceso longitudinal de la herramienta, como expresa la figura.



Mandrinar

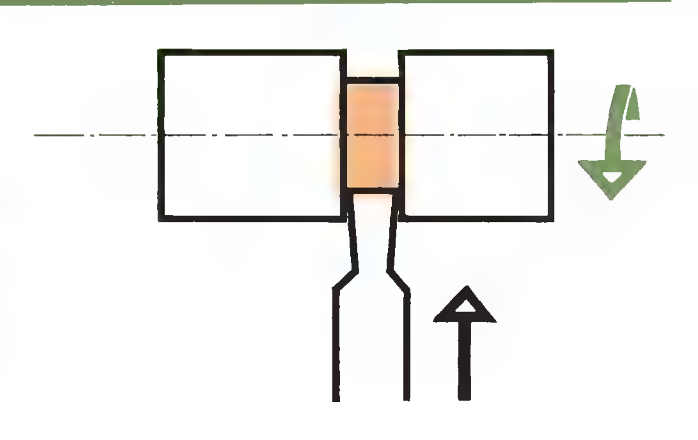
No es otra cosa que el cilindrado de superficies interiores. Esta operación puede definirse como un torneado de interiores.



Tronzar

Aunque sin referirse al torno, hemos citado esta operación. Consiste en la obtención de trozos de una pieza dada.

Trocear con un torno tiene la ventaja de que las superficies de las piezas obtenidas son muchísimo más perfectas que con otros procedimientos (sierra, por ejemplo).



VELOCIDAD DE CORTE

Éste es un concepto que interesa tener claro.

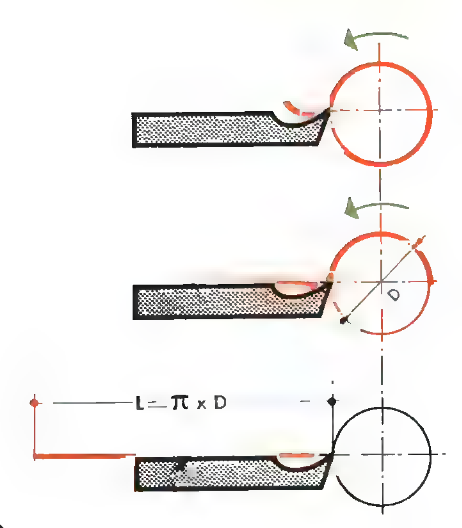
En cada revolución (vuelta completa) dada por la pieza a tornear, la herramienta aplicada sobre ella habrá *barrido* una vez su perímetro. En consecuencia, en cada revolución de la pieza la herramienta arranca una longitud de viruta igual al perímetro de la pieza que se tornea, el cual, por tratarse de una pieza circular, tiene una longitud que determina la fórmula $L = 2\pi r = \pi D$. Es decir: la fórmula de la longitud de la circunferencia.

La herramienta, en cada revolución dada por la pieza, habrá arrancado una longitud de viruta igual a $\pi \times D$; y si la velocidad de giro es de N revoluciones por minuto, resultará que la longitud de la viruta arrancada en cada minuto de tiempo será:

$$L_{min} = N \times \pi \times D;$$

lo que, expresando el diámetro D en metros, serán metros por minuto. Estamos ante un claro ejemplo de velocidad: cantidad de metros (de viruta arrancada) por minuto de tiempo. A este concepto le llamamos velocidad de corte.

$v = N \times \pi \times D$ en metros por minuto (m/min)



Ejemplo

Una pieza situada en el torno gira a 200 r.p.m. Dicha pieza tiene un diámetro de 50 mm. ¿Cuál es la velocidad de corte?

El diámetro de la pieza, expresado en metros, es:

$$D = 50 \text{ mm} = 0'05 \text{ m}$$

La velocidad de corte v, en m/min, será:

$v = N \times \pi \times D = 200 \times 3'14 \times 0'05 = 31'4$ m/min

LAS HERRAMIENTAS

Repetimos una vez más que no estamos siguiendo un tratado de mecánica; sería abusivo dar este nombre al compendio de conceptos básicos que recogen estas lecciones de TALLER MECÁNICO, cuyo único propósito es dar al especialista en otras ramas de la técnica los conocimientos fundamentales que le permitan opinar en aquellos casos en que su trabajo específico se entronca, por necesidades de fabricación o mantenimiento, con la tecnología mecánica.

Bajo esta tónica hemos estructurado un somero estudio de las principales características a considerar en las herramientas propias del torno.

Material para herramientas de torno

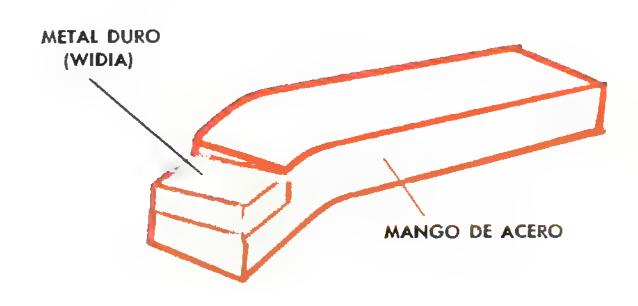
Los materiales más empleados para la fabricación de herramientas de torno, según el tipo de operación que se desee efectuar, son los que citamos a continuación:

ACERO RÁPIDO ORDINARIO, llamado también acero de herramientas. Al no ser apto para trabajar a velocidades de corte elevadas, sólo se utiliza para forjar herramientas especiales. Dadas estas características, se comprende que su uso sea muy restringido.

ACERO RÁPIDO ALEADO. Contiene del 8 al 10 % de cobalto. Este acero admite mayores velocidades de corte, lo que lo hace útil para trabajos de torno que deban realizarse a velocidades normales, como son, por ejemplo, el tronzado y roscado. Este acero se expende en forma de barritas cuadradas, rectangulares o redondas, templadas y rectificadas.

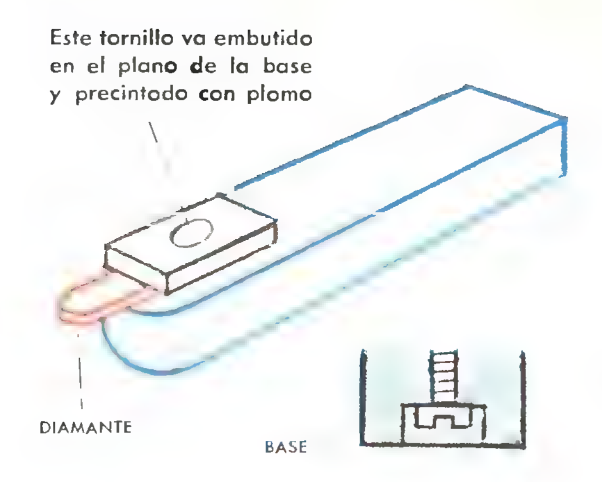
CARBURO METÁLICO, vulgarmente llamado *widia*. Es quizás el material más empleado en la construcción de herramientas para tornos.

En realidad, el widia se emplea únicamente para la parte de la herramienta que forma su filo. Se trata de unas plaquitas soldadas sobre mango de acero, como indica la figura adjunta.



Los carburos metálicos admiten grandes velocidades de corte y elevadas temperaturas, lo que les da un alto rendimiento al permitir la obtención de filos de herramienta capaces de reducir enormemente el tiempo de mecanizado.

El DIAMANTE, usado también como elemento de corte, resulta demasiado caro para ser un material de empleo normal. Las piezas de diamante se montan sobre un mango especial, sujetas por un tornillo precintado al plomo.



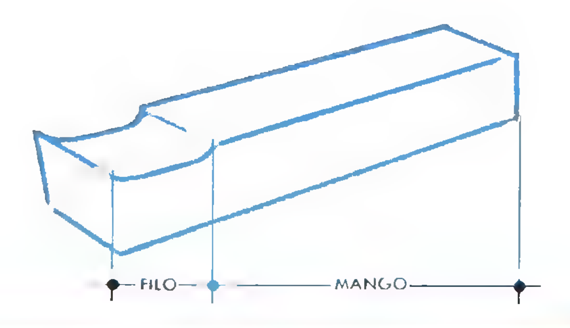
La forma de las herramientas

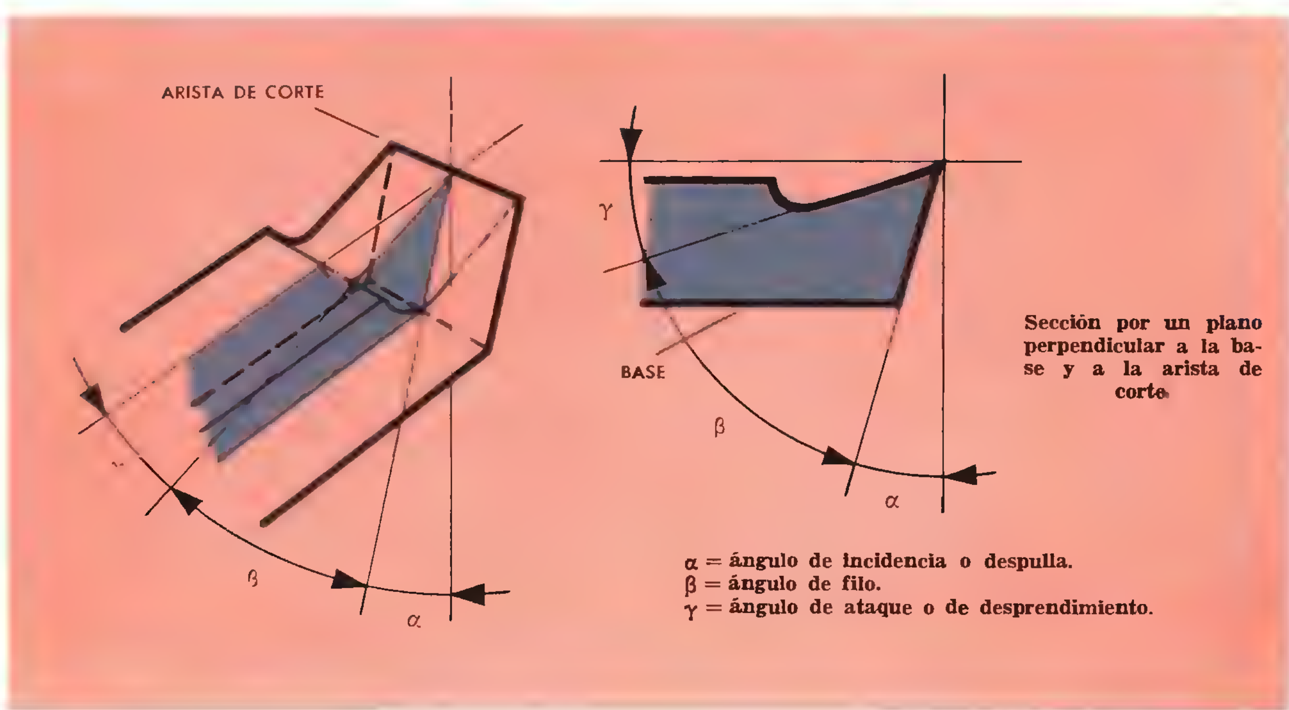
En toda herramienta distinguimos dos partes fundamentales: el *mango* y el *filo*.

Creemos inútil definirlas, por cuanto se trata de dos conceptos de comprensión directa. Digamos que el mango acostumbra tener una sección cuadrada o rectangular, siendo menos común la sección circular, aunque se dé en algunos casos.

El filo es la parte más delicada de la herramienta, de la que depende la duración y la calidad del trabajo que con ella podamos realizar.

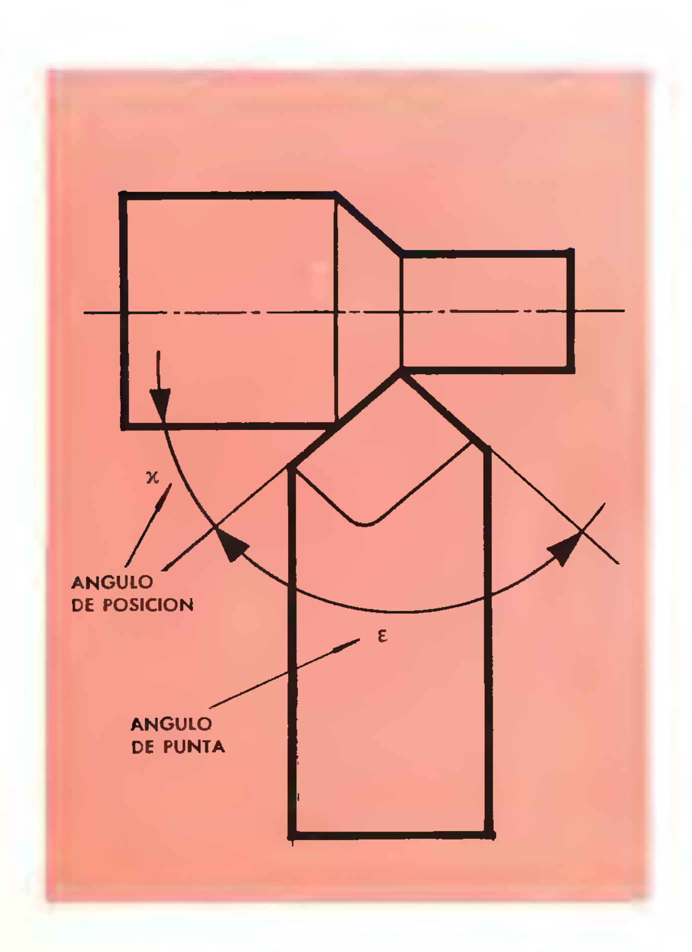
El filo de estas herramientas tiene una forma característica, variable según el material de fabricación y según el tipo de material a trabajar. En él podemos distinguir distintas partes y ángulos, cuya situación preferimos indicar con un dibujo.





Observe que son los ángulos α, β y γ los que caracterizan la forma del filo, ángulos cuyo valor depende, como acabamos de insinuar, del material a trabajar y del material de la herramienta. Los valores de α, β y γ más aceptados son los que se indican en la siguiente tabla.

MATERIAL A TRABAJAR	Herramientas de acero rápido			Herramientas de carburo metálico (widia)		
	α	β	γ	α	β	γ
Aceros de hasta 55 Kg/mm² de resistencia (F-2, F-3, F-4) y aluminio.	7°	58°	25°	6°	69°	15°
Acero fundido Acero aleado hasta 110 Kg/mm² Fundición de hierro Latón, bronce.	7°	65°	18°	6°	76°	8°
Acero fundido hasta 150 Kg/mm² Fundición de hierro	7°	68°	15°	6°	79°	5°



Además de estos ángulos, cabe considerar otros dos que se derivan de la forma de algunos filos. Son el ángulo de posición, que se representa por una equis (X), y el ángulo de punta de la herramienta que se representa por una épsilon griega (ε).

El ángulo en posición X suele ser de 45°; el ángulo de punta oscila, generalmente, entre los 80° y 110°.

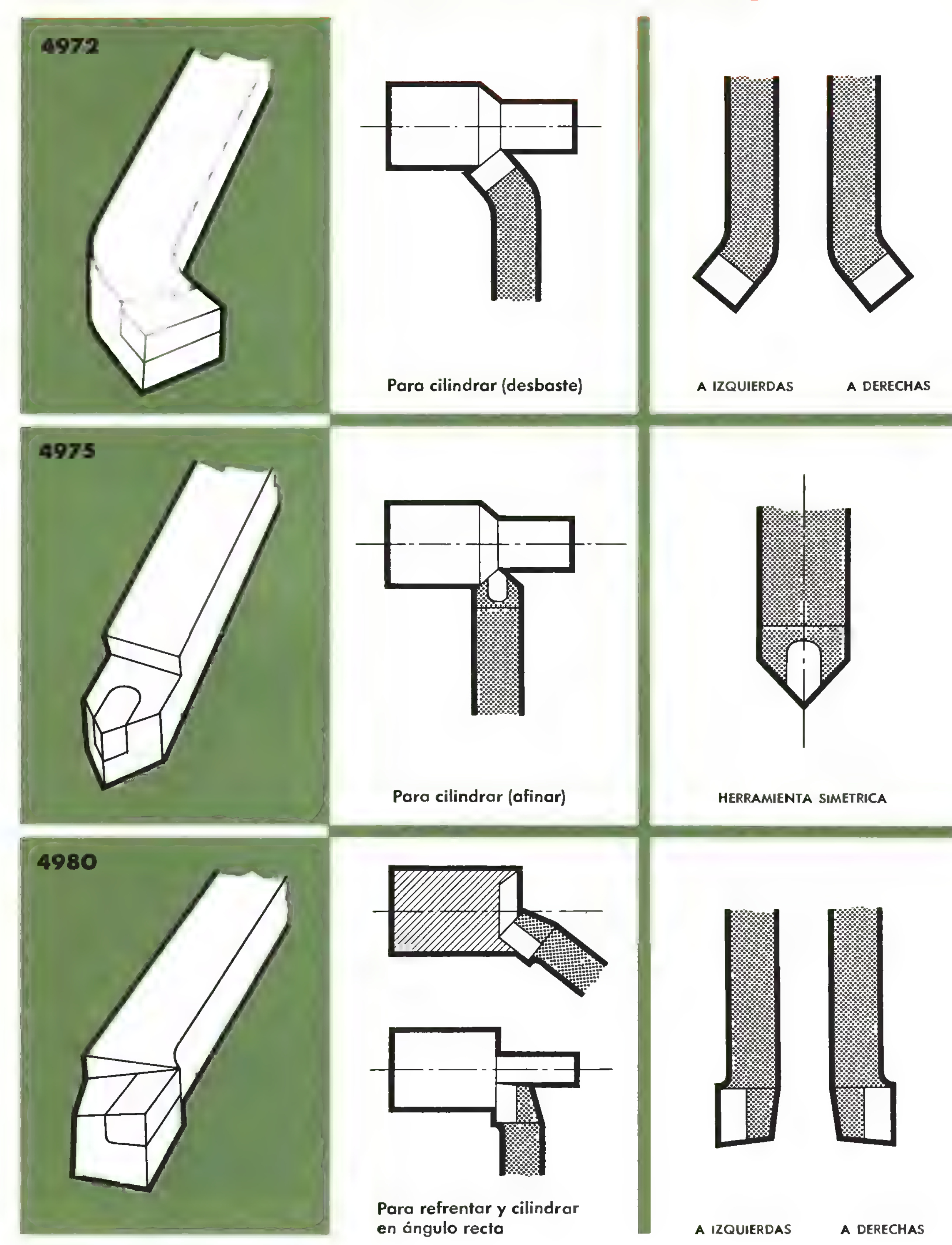
LA FORMA DEL FILO DENOMINACION DIN

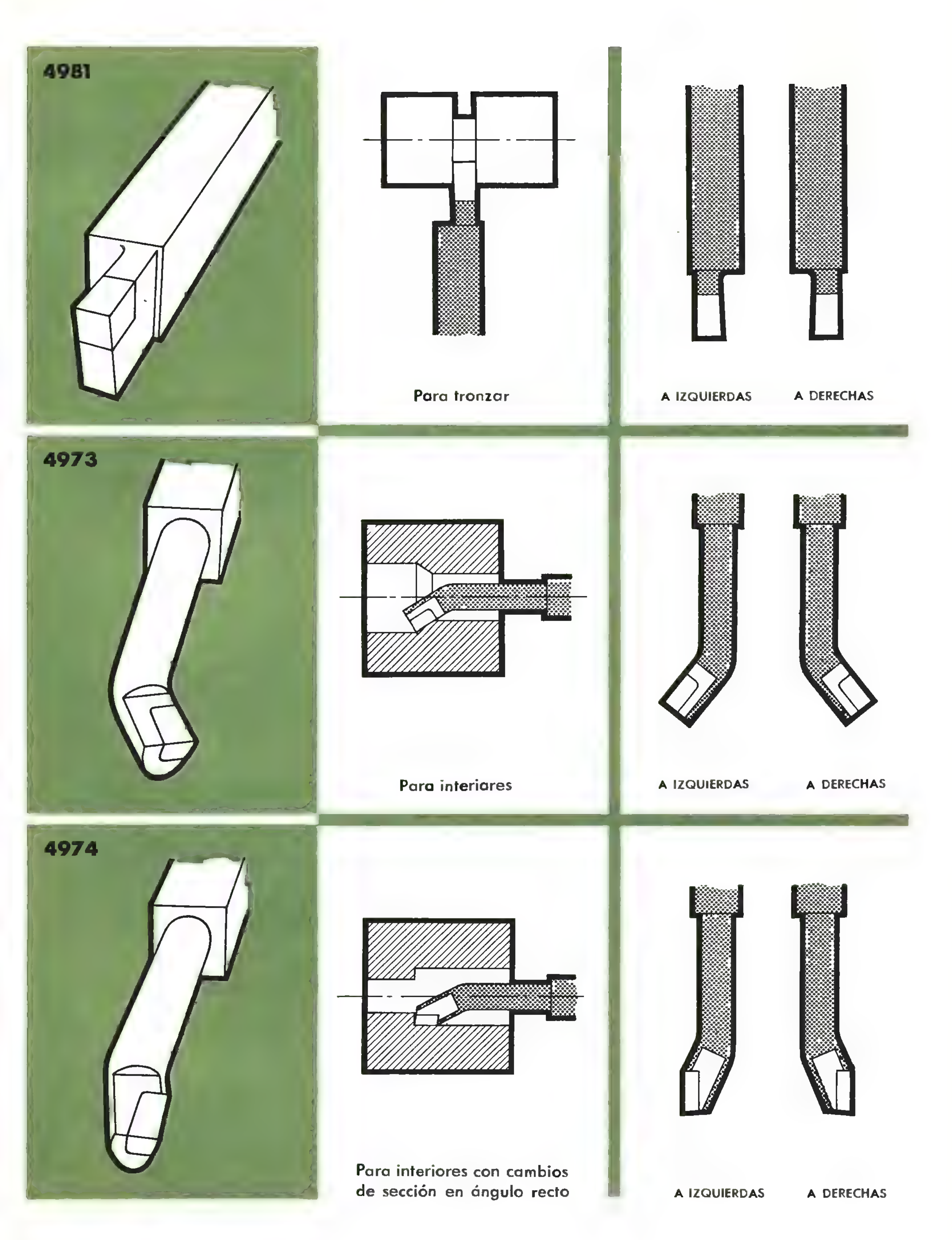
El filo de una herramienta adopta la forma más idónea al trabajo a que se destina, lo que ha dado lugar a un extenso muestrario cuyos modelos requieren una denominación.

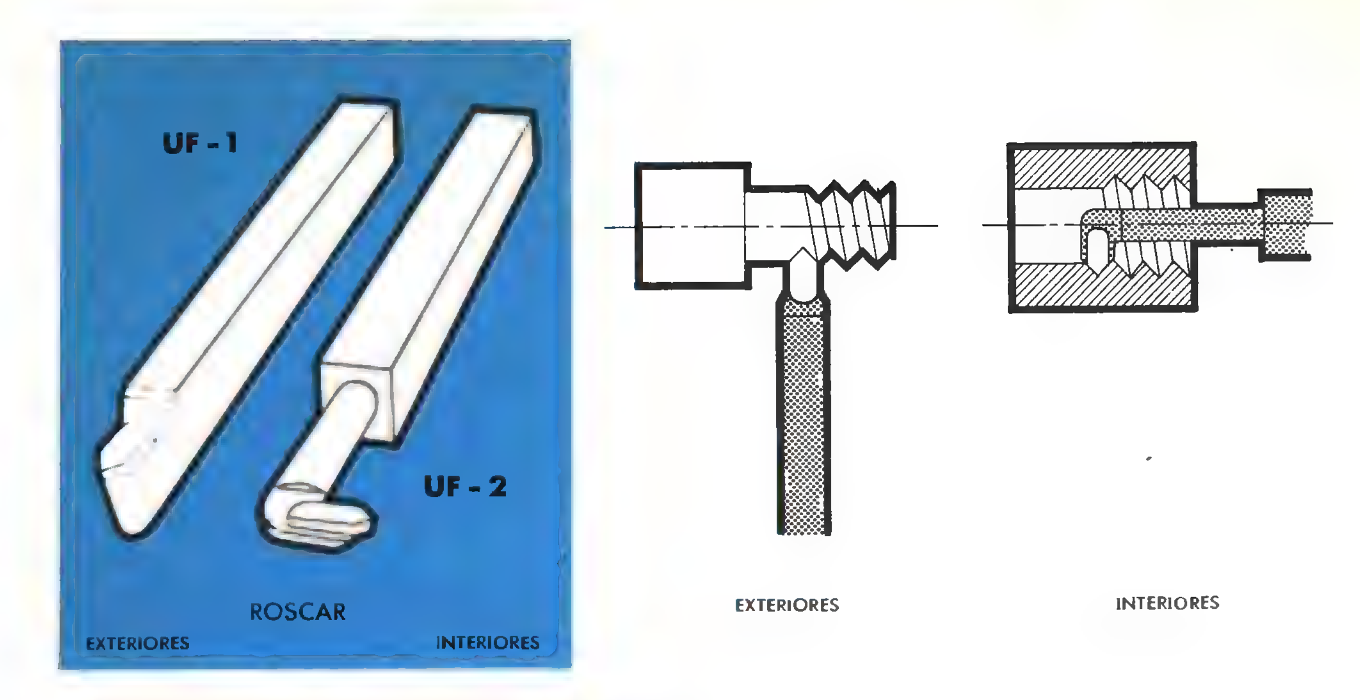
Se ha intentado establecer una norma internacional que unifique los tipos y denominación del filo de las herramientas para torno, normalización que por causas muy diversas no ha llegado a una total aceptación. Sin embargo, es muy corriente utilizar las normas DIN, que establecen un número para cada tipo de filo.

Enseñamos en forma gráfica la forma y numeración DIN de los filos más usados, indicando la operación específica que pueden efectuar.

FORMA Y NOTACION DIN PARA FILOS DE HERRAMIENTAS



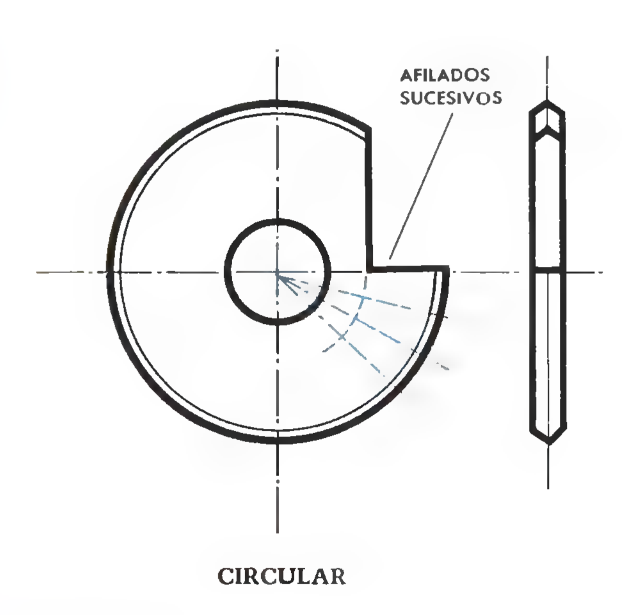

4981
Para tronzar
A IZQUIERDAS
A DERECHAS
4973
Para interiares
A IZQUIERDAS
A DERECHAS
4974
Para interiores con cambios de sección en ángulo recto
A IZQUIERDAS
A DERECHAS



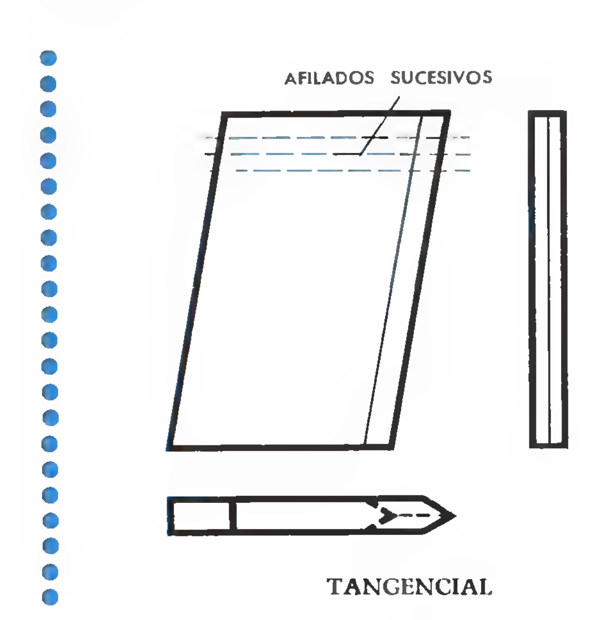
HERRAMIENTAS DE FILO CONSTANTE

Se trata de un modelo muy característico de herramientas especialmente indicadas para roscar o para obtener formas especiales. Pueden adoptar dos formas, denominadas *circular* y *tangencial.*

Estas herramientas son menos rígidas que las normales, pero tienen una ventaja sobre éstas: que facilitan extraordinariamente su afilado, lo cual repercute en una mayor vida útil de la herramienta.



CIRCULAR

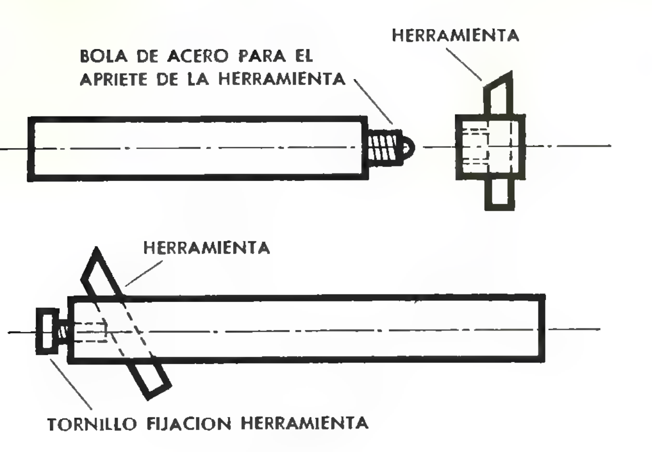


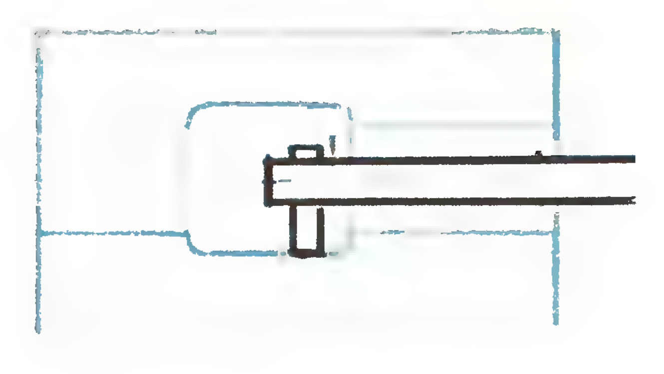
TANGENCIAL

BARRENAS

Son herramientas especialmente diseñadas para torneados interiores, tanto de superficies regulares como de superficies roscadas. Se trata de unas barras de acero normal de construcción que sirven de soporte a la herramienta propiamente dicha, de acero rápido aleado, y que es la encargada de producir el arranque de viruta.

La gran variedad de formas existentes dificulta una clasificación completa. Nos limitamos a mostrar tres de los modelos más corrientes.





Acción de una barrena.



PORTAHERRAMIENTAS

Cuando se trabaja con herramientas de acero rápido aleado pueden emplearse unos elementos auxiliares denominados portaherramientas. Se trata de unos mangos de acero forjado equipados con un dispositivo de fijación que permite sujetar la herramienta y desplazarla a tenor de las exigencias del mecanizado. La fotografía adjunta pertenece a un modelo normal.



CALIDAD DE LA HERRAMIENTA. NOTACION DIN

Las herramientas con filo de carburo metálico se suministran con plaquitas de distinta calidad, según convenga al tipo de operación que deba efectuarse y según el material a tratar.

A cada calidad le corresponde una notación convencional que la define. Las denominaciones DIN (normas alemanas aceptadas internacionalmente) correspondientes a las calidades más empleadas son éstas:

S_2 — Para desbaste de aceros en general. Superficies poco rugosas.

S_1 — Para acabados de aceros en general.

H_1 — Para fundiciones, aluminio, latón, cobre.

G_1 — Para superficies rugosas en general.

Se comprende que al efectuar el pedido de una herramienta se hará en vistas a su empleo, y que según sea éste determinaremos una calidad S_2, S_1, H_1 o G_1.

DENOMINACION DE UNA HERRAMIENTA

Con lo que acabamos de decir disponemos de todos los datos para la denominación total de una herramienta. Esta denominación, por así decirlo, define la herramienta al fijar los siguientes conceptos:

1.° *Calidad de la parte activa (filo)*, según el material a cortar y rugosidad de su superficie.
Símbolo según DIN: S_1, S_2, H_1, G_1.
También: acero rápido, acero rápido aleado, etc.

2.° *Forma de la parte activa*, dada por el valor de los ángulos de corte (incidencia, filo y desprendimiento) adecuados al material a mecanizar.
Símbolo: se cita el grupo de ángulos adecuado.
Ejemplo: 6°-76°-8°.

3.° *Forma geométrica de la herramienta*, adecuada al trabajo a efectuar.
Símbolo según DIN: 4972, 4975, etc., etc.

4.° *Forma del mango*. Sección y longitud.
Secciones normales: 10 × 10; 12 × 12; 16 × × 16; 20 × 20; 25 × 25 y 32 × 32.
Longitudes normales: 100, 110, 140, 160, 200 y 250 para las secciones anteriores respectivamente.

FIJACION DE LA HERRAMIENTA AL TORNO

Mediante dibujos demostrativos, vamos a dar algunas ideas sobre la forma correcta de fijar la herramienta a la torreta del torno, operación que requiere cuidados especiales.

Los sistemas de fijación más corrientes son: fijación por brida, fijación tipo puente y fijación en torreta cuádruple. El primer sistema (brida) ha caído en desuso, y sólo lo citamos porque puede subsistir en tornos muy antiguos pero que por su extraordinaria calidad aún prestan servicio.

Vea los dibujos a que nos hemos referido y los epígrafes que los acompañan.



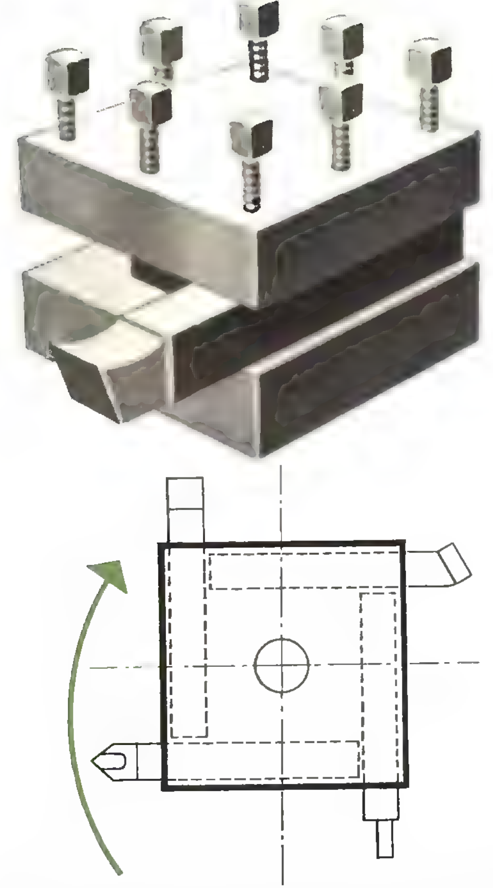
Tipo "de brida". Ha caído en desuso y lo verá muy raras veces, si no es en tornos muy antiguos.



CORRECTO INCORRECTO



Tipo "de puente". Hay que poner especial cuidado en la colocación del puente.



Tipo "torreta cuádruple". Sistema mayormente empleado, pues permite la colocación de cuatro herramientas. La torreta es giratoria y permite tener dispuestas las herramientas necesarias para un mecanizado determinado.

FIJACIONES DEFECTUOSAS



Tornillo central poco apretado.



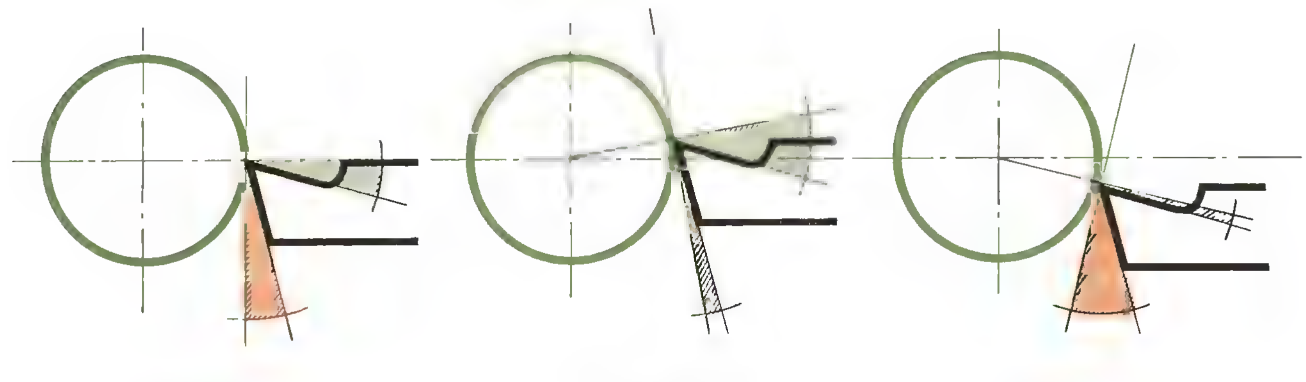
Calce mal dispuesto.



Calce mal dispuesto.

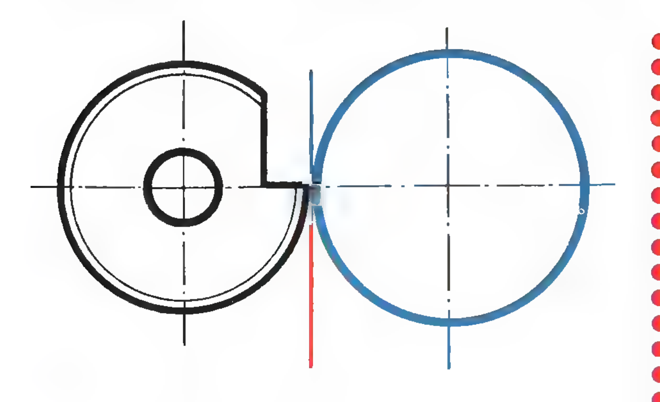
SITUACION DEL FILO

El filo de la herramienta, nueva o usada, debe coincidir con el nivel del eje de la pieza a tornear. Lo contrario lleva a modificaciones en el valor de los ángulos de desprendimiento y de incidencia característicos del filo de las herramientas, que dejan de trabajar en sus condiciones óptimas mermándose así su normal rendimiento y la calidad del mecanizado.

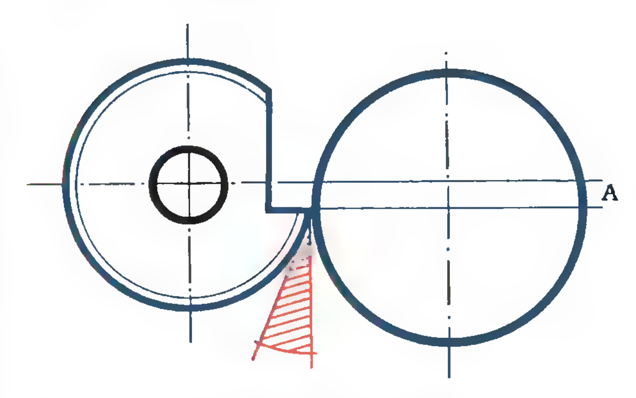


CORRECTO INCORRECTO INCORRECTO

Las herramientas de perfil constante tienen su adecuado ángulo de incidencia cuando su centro queda situado por encima del eje de la pieza. Se comprende que la distancia entre eje y centro de herramienta debe ser la que conviene a su ángulo de incidencia. En el gráfico suponemos que la distancia A es la oportuna. Ninguna otra distancia sería la adecuada.



Angulo de incidencia nulo.



La altura A será adecuada para obtener el ángulo de incidencia que se precisa.

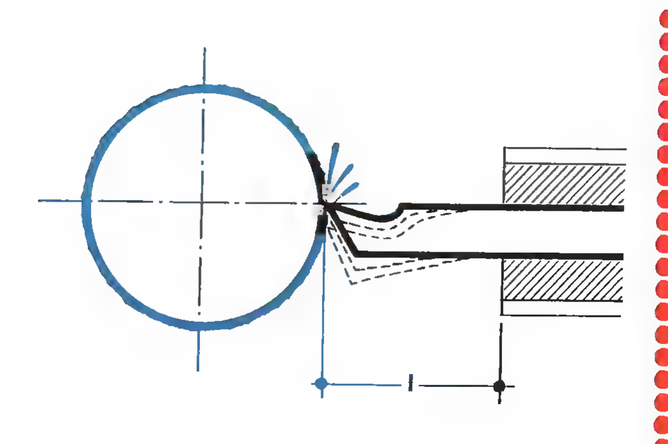
LONGITUD SALIENTE DE LA CUCHILLA

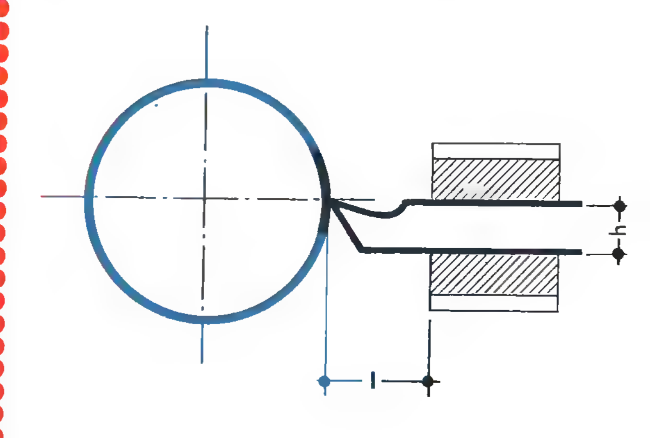
Es de vital importancia que el filo de la herramienta sobresalga del elemento sujetador en una distancia *l* suficiente para el correcto trabajo de la cuchilla y para evitar que la parte saliente de la herramienta entre en vibración. Si el saliente de la cuchilla es excesivo, se producen vibraciones que dejan la superficie trabajada con rugosidades inoportunas.

Como norma general, el saliente *l* debe ser igual a dos veces la altura de la herramienta. Es decir:

$$l = 2 \times h$$

siendo h = altura de la herramienta.





VELOCIDAD DE CORTE

Conocemos el significado de la expresión: cantidad de viruta arrancada en metros por minuto.

Este factor es decisivo en la preparación de trabajos al torno. Una reducida velocidad de corte encarece el producto porque aumenta el tiempo de su mecanizado; por contra, una velocidad elevada disminuye el tiempo de la operación, pero, pasado un límite, la herramienta se desgasta con excesiva rapidez. Para cada tipo de mecanizado existe una velocidad de corte óptima, cuya determinación depende de los siguientes extremos:

1.º *Material de la pieza a mecanizar.* Los materiales blandos pueden trabajarse a mayor velocidad que los duros.

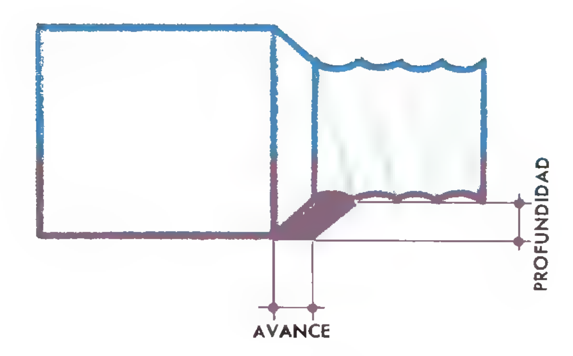
2.º *Calidad de la herramienta.* Los carburos metálicos admiten mayores velocidades de corte que los aceros rápidos.

3.º *La refrigeración de la pieza.* Con taladrina

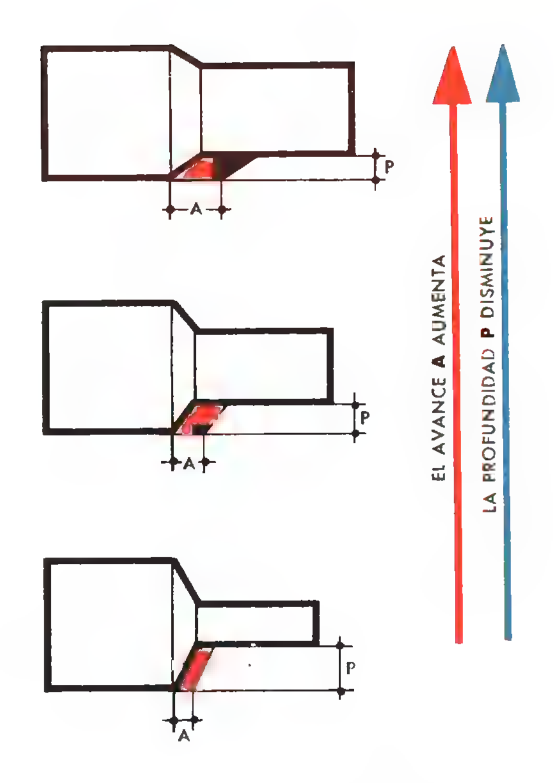
podemos aumentar la velocidad de corte, disminuyendo el tiempo del mecanizado.

4.º *La sección de la viruta arrancada.* Esta sección es un paralelogramo cuya base es la longitud del avance de la pieza en cada revolución y cuya altura es la profundidad que se alcanza en cada pasada. Se comprende que la superficie de esta sección depende directamente de la potencia del torno.

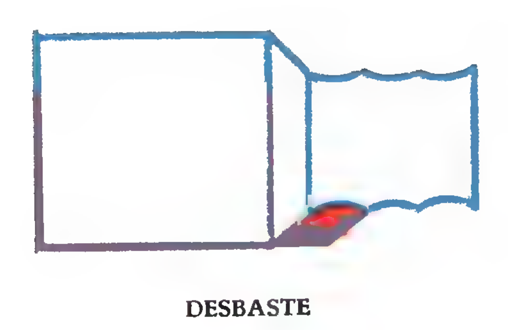
Una vez fijada la sección de la viruta pueden obtenerse distintas soluciones combinando los valores del avance y de la profundidad.



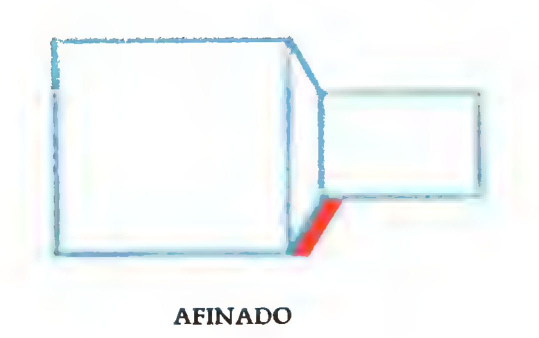
Para desbastar la pieza convienen grandes avances. Para afinar y pulir superficies se requieren avances pequeños.



Para virutas de igual sección podremos aumentar el avance siempre que se disminuya la profundidad.



DESBASTE



AFINADO

Otro factor que influye en la determinación de la velocidad de corte es la robustez de la máquina: una máquina robusta aguantará velocidades elevadas; una máquina débil deberá trabajar con mayor lentitud para evitar vibraciones que comprometan la vida de la herramienta y la perfección del acabado.

Vea la siguiente tabla para determinar velocidades de corte en relación con los avances y profundidades de pasada y la calidad de las herramientas, contando con un tiempo de dos horas entre afilados consecutivos de las mismas.

Ejemplo

Suponga que debe cilindrarse un eje de motor eléctrico a partir de una barra de acero de 60 Kg/mm². El diámetro medio de la pieza debe ser de 70 mm. ¿Qué revoluciones deberemos dar al torno?

En el desbaste

De acuerdo con las normas DIN, deberemos utilizar una herramienta 4980, ángulos de 6º-76º-8º y calidad S-2.

La profundidad de pasada conviene que sea

VELOCIDADES DE CORTE EN m mm

Profundidad de pasada en mm	Avance en mm por vuelta	Fundición		Acero hasta *55 Kg/mm²		Acero hasta *55 Kg/mm²		Latón y bronce blandos, cuero, plásticos		Latón y bronce duros		Aluminio y madera dura	
	Herramienta	Ac. rápido	Carburo	Ac. rápido	Carburo	Ac. rápido	Carburo	Ac. rápido	Carburo	Ac. rápido	Corburo	Ac. rápido	Carburo
1,6	0,2	80	146	99	244	60	183	99	244	60	183	122	304
	0,4	60	110	76	183	46	137	76	213	46	137	91	228
	0,8	50	98	53	137	32	99	53	137	30	99	69	183
4,8	0,2	64	130	70	183	43	131	70	180	40	130	90	230
	0,4	49	98	55	137	34	100	55	130	35	98	75	150
	0,8	40	80	40	99	24	76	40	100	25	75	55	130
9'5	0,2	43	85	—	—	—	—	55	122	34	113	70	152
	0,4	34	67	44	92	27	82	42	91	27	79	55	122
	0,8	26	49	30	68	21	53	30	68	18	53	40	92

* Para los aceros, la herramienta de acero rápido debe refrigerarse con taladrina. Los demás valores en seco.

pequeña, puesto que estamos en un desbaste. Luego, escogeremos una profundidad de 1'6 mm. En cambio, deberemos tomar el mayor avance posible para la profundidad escogida. El avance será de 0'8 mm por vuelta.

En el afinado

Repasando el buen catálogo de herramientas con notación DIN que hemos dado anteriormente, llegará a la conclusión de que para la operación del afinado del eje que nos ocupa precisamos una herramienta 4975, ángulo 6º-76º-8º y calidad S-1.
La profundidad de pasada será de 1'6 mm, pero con avance mínimo; 0'2 mm por vuelta.

Velocidad del corte o giro

Consultando las tablas, vemos que la velocidad de corte en el desbaste, será de 99 m/min. De aquí podemos deducir la velocidad de giro que deberemos dar a la pieza.
De la fórmula $V = N \times \pi \times D$ deducimos:

$$N = \frac{V}{\pi \times D}$$

Sabemos que $D = 70$ mm $= 0'07$ m.

$$N = \frac{99}{3'14 \times 0'07} = 450 \text{ r.p.m.}$$

En el afinado será:

$$N = \frac{183}{3'14 \times 0'07} = 830 \text{ r.p.m.}$$

AFILADO DE LAS HERRAMIENTAS

Habrá observado que los valores dados en la tabla anterior se han calculado para una frecuencia de dos horas entre afilados sucesivos de la herramienta.

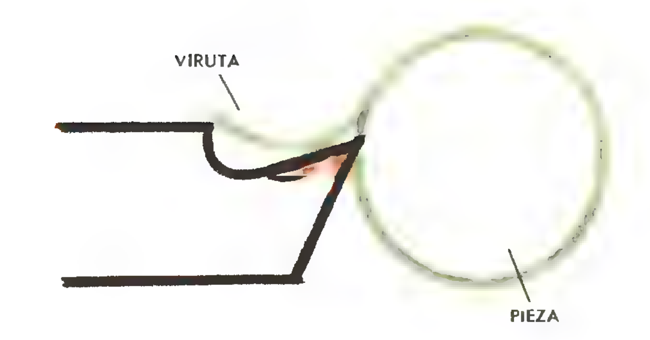
Esta advertencia es suficiente para hacernos comprender que la herramienta colocada en el torno deberá afilarse cuando su desgaste pueda suponer una imperfección segura del trabajo que realiza.

El desgaste del filo de la herramienta se produce de dos formas distintas:

Por una parte, el filo roza constantemente con la pieza que se tornea, roce que lo desgasta formando lo que se llama un *chaflán de punta.*

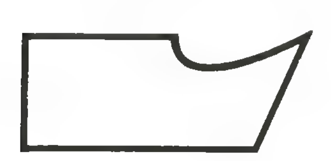
Por otra parte, la viruta arrancada presiona contra el plano inclinado del filo rozando contra él y motivando la formación de un *cráter*.

Es difícil decir con exactitud cuándo debe ser afilada una herramienta. El tornero, gracias a la práctica adquirida, advierte, por la forma en que aparece la viruta, cuándo la herramienta trabaja en malas condiciones y debe ser afilada.

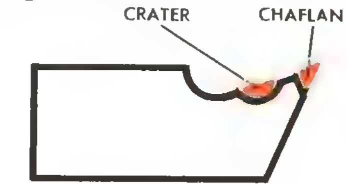


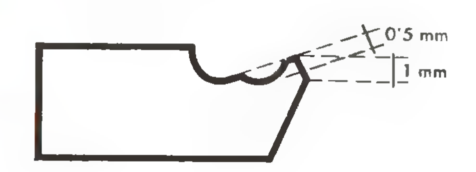
Sin embargo, una buena norma es la siguiente:

Una herramienta se considera desafilada cuando el chaflán de punta es de 1 mm y la profundidad del cráter de 0'5 mm.



HERRAMIENTA NUEVA





HERRAMIENTA DESGASTADA

Cuando el chaflán y el cráter alcanzan las medidas indicadas, la herramienta debe ser afilada.

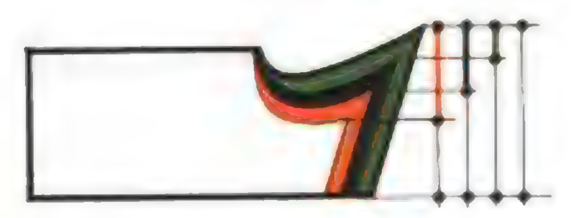
CALZADO DE LA HERRAMIENTA

Existen máquinas especiales para el afilado de herramientas para torno. Son muelas con mesa de apoyo basculante para obtener los ángulos precisos.

Al afilar una herramienta, cosa lógica, disminuye la altura comprendida entre su filo y su base, distancia que disminuye en cada afilado sucesivo.

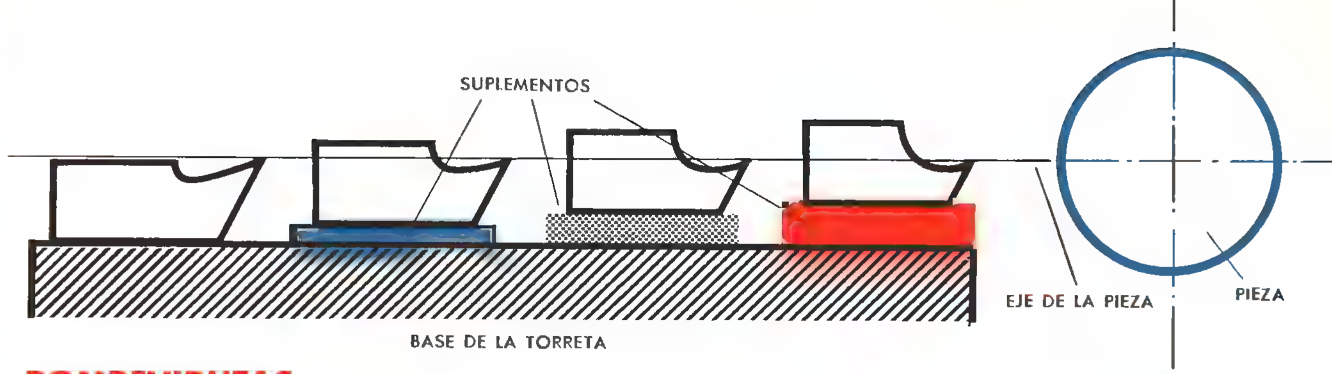
Esta pérdida de altura hace que el filo de la herramienta no llegue al nivel del eje de rotación de la pieza, lo que obliga a calzarla con una pieza supletoria que la restituye a su posición óptima de trabajo.







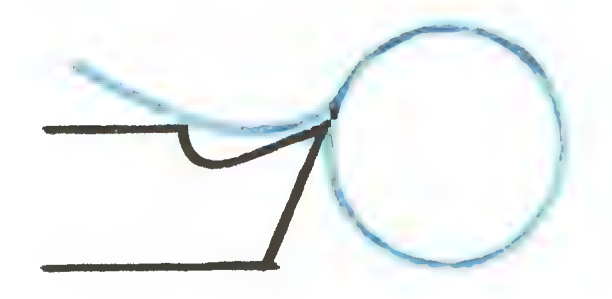
Afilando una herramienta.



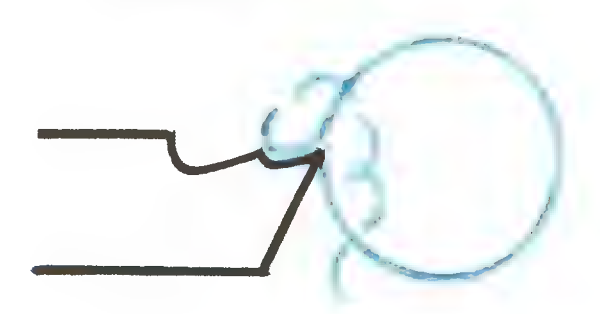
ROMPEVIRUTAS

Con el fin de evitar la formación de virutas muy largas, que podrían representar un serio peligro para el operario, en las herramientas se practica una escotadura de dimensiones estudiadas, cuya misión consiste en romper la viruta arrancada antes de que alcance una longitud peligrosa.

El rompevirutas, lo acabamos de decir, debe tener unas dimensiones convenientes. Tales medidas se fijan siguiendo dos criterios: según el tamaño de la herramienta o bien según el avance y profundidad de pasada.



SIN ROMPEVIRUTAS



CON ROMPEVIRUTAS

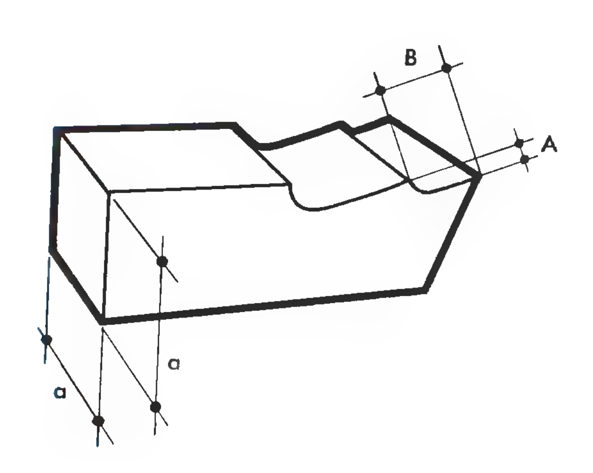
El rompevirutas evita que se formen virutas de excesiva longitud.

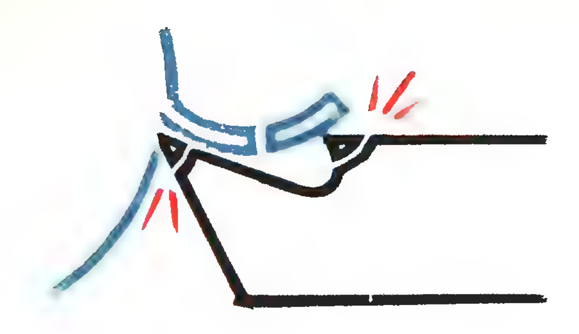
Según el tamaño de la pieza

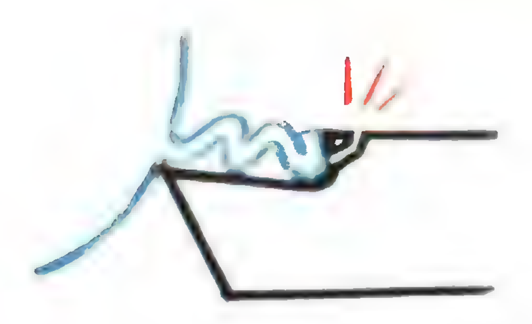
a x a	Rompevirutas B	Rompevirutas A
16 x 16	1,5	0,3
20 x 20	2	0,4
25 x 25	2,5	0,4
30 x 30	3	0,5

Según el avance y profundidad de pasada

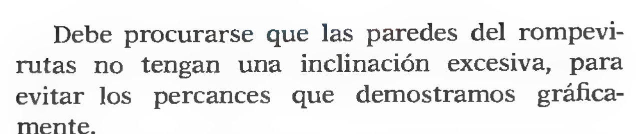
Profundidad en mm	AVANCE 0,2	0,4	0,6
1	1,5 x 0,4	2 5 x 0,5	3 x 0,6
4	2,5 x 0,4	3 x 0,5	3 x 0,6
9	3 x 0,4	4 x 0,5	4,5 x 0,6





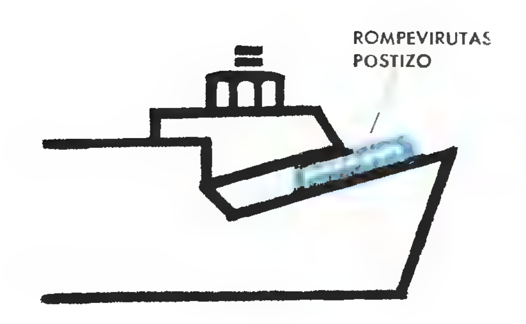


Un rompevirutas con paredes demasiado inclinadas puede romper el filo de la herramienta y representar un verdadero freno.



Debe procurarse que las paredes del rompevirutas no tengan una inclinación excesiva, para evitar los percances que demostramos gráficamente.

Estos rompevirutas se obtienen generalmente con una pequeña muela de diamante, aunque algunas veces están formados por una plaquita postiza que se fija sobre el filo de la herramienta y cuya separación entre la arista de corte y su cara frontal puede regularse a voluntad.



ACABADO DEL FILO

Una vez afilada una herramienta, debe rectificarse su filo mediante una operación de afinado que requiere una u otra muela de diamante, según los casos. Estas muelas son un disco de metal cubierto por una capa de polvo de diamante adherida con un conglomerante. Esta capa tiene un espesor que varía de 0'5 a 3 mm.

He aquí, en forma de tabla, una norma para el correcto afilado de las herramientas de carburo metálico y de acero rápido.

HERRAMIENTAS DE CARBURO METALICO

OPERACION	MUELA				OBSERVACIONES
	TIPO	GRANO	GRADO	ESTRUCTURA	
Desbaste del mango	Corindón	40 - 50	J - K	5 - 6	En seca
Desbaste plaquita	Carburo de silicio	45 - 60	H - I	6 - 8	En seca

Acabado cara desprendimienta	Carburo de silicio	80 - 100	I - J	6 - 8	Refrigerado
Acabada cara de despulla	Carburo de silicio	80 - 100	I - J	6 - 8	Refrigerado
Afinado	Diamante	250 - 300	—	50 - 100	Sin hacer presián sobre la muela
Repaso final	Lima diamante	400 - 500	Aglomeran resinoso	100	Operación manual

HERRAMIENTAS DE ACERO RAPIDO

OPERACION	MUELA				OBSERVACIONES
	TIPO	GRANO	GRADO	ESTRUCTURA	
Desbaste	Corindón	40 - 50	J - K	5 - 6	En seco
Acabada	Corindán	55 - 65	O - P	6 - 8	Refrigerado

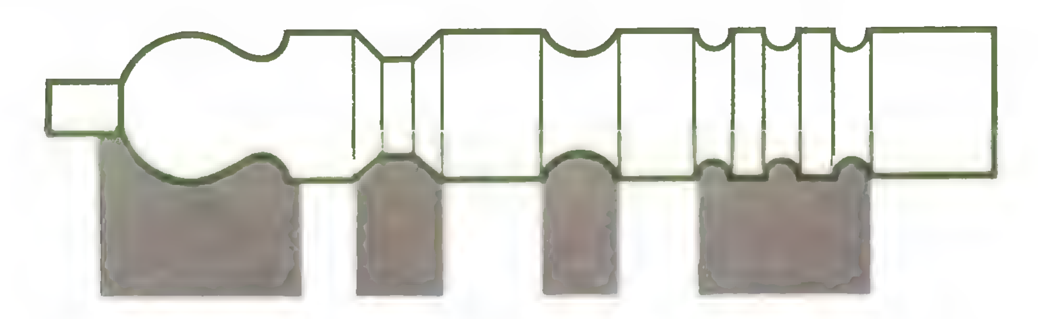
Afinado	Lima de carindán	200 - 250	——	——	Operación manual

HERRAMIENTAS ESPECIALES

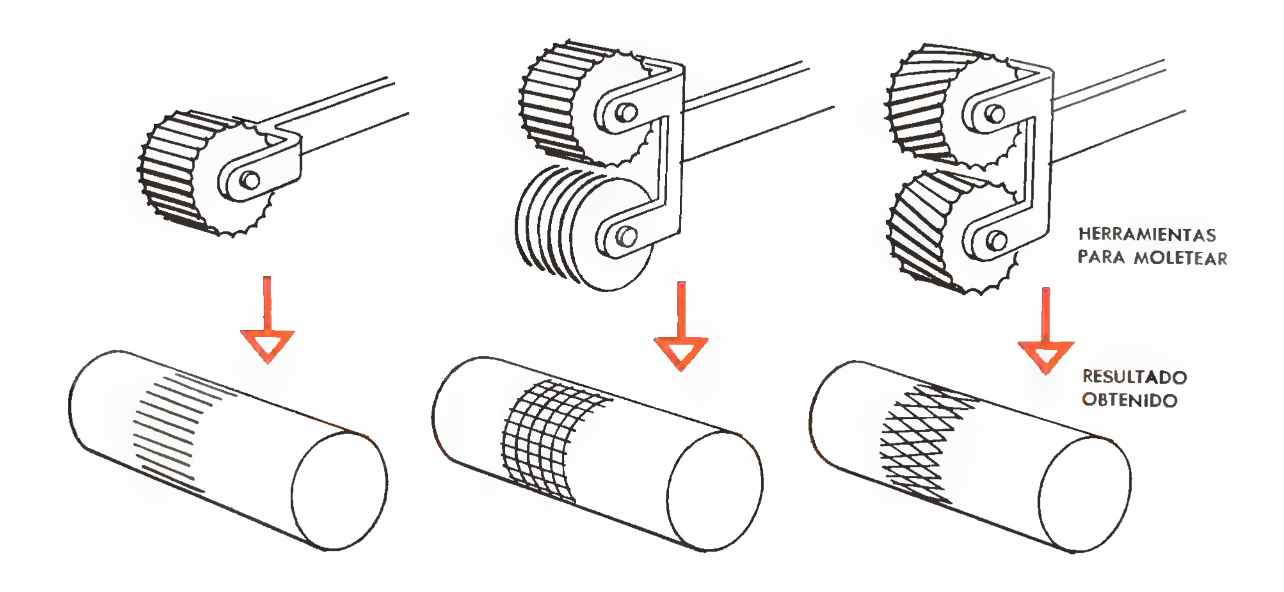
En determinados trabajos las herramientas normales resultan improcedentes por la gran lentitud que imprimirían al proceso, o simplemente porque no pueden cumplir con la función que se encomienda al torno del que, algunas veces, se exigen trabajos muy especiales.

Entonces deben emplearse herramientas de forma especial, que se proyectan y fabrican exprofeso, en vistas al rápido cumplimiento de la misión que se pretende encomendarles. Un buen ejemplo es el que representamos de forma esquemática.

En el grupo de piezas especiales podemos incluir las llamadas herramientas para *moletear*, operación que tiene por objeto trabajar las superficies ya mecanizadas para darles una textura regular y rugosa menos deslizable que las lisas. Tales superficies, generalmente, deben formar empuñaduras útiles al trabajo, que deberá efectuar la pieza moleteada.



Herramientas especiales para el mecanizado de un cuerpo de revolución de forma irregular.



RECOMENDACIONES

Por si alguna vez dispone de taller propio y en él instala un torno, exija a sus operarios o a usted mismo el fiel cumplimiento de estas recomendaciones.

1.º Sujetar bien la pieza a tornear, sea en el plato o sea entre puntos.
2.º Colocar siempre lunetas para piezas largas.
3.º Determinar el número de r.p.m., avance y profundidad de pasada antes de poner en marcha la máquina.
4.º Fijar bien la herramienta y colocarla a la altura del eje de la pieza.
5.º Para comprobar medidas con el pie de rey o pálmer, hacerlo siempre con la máquina parada.
6.º En lo posible no utilizar nunca la lima para el afinado de superficies. Puede ovalarse la pieza.
7.º Antes de parar o desembragar la máquina, debe retirarse la herramienta; de lo contrario puede romperse.
8.º Al cilindrar y llegar al límite de la operación, desconectar el avance.
9.º Mantener la máquina limpia y en buenas condiciones.



APENDICE

2°

MATERIALES

Aislantes sólidos

Caucho natural y sintético; derivados

La madera y las sustancias celulósicas



LECCION Nº 7

materiales eléctricos

7

AISLANTES SOLIDOS. EL CAUCHO Y LOS CAUCHOS SINTETICOS. LA EBONITA. LOS AISLANTES TEXTILES. LOS AISLANTES DE BASE CELULOSICA

EL CAUCHO

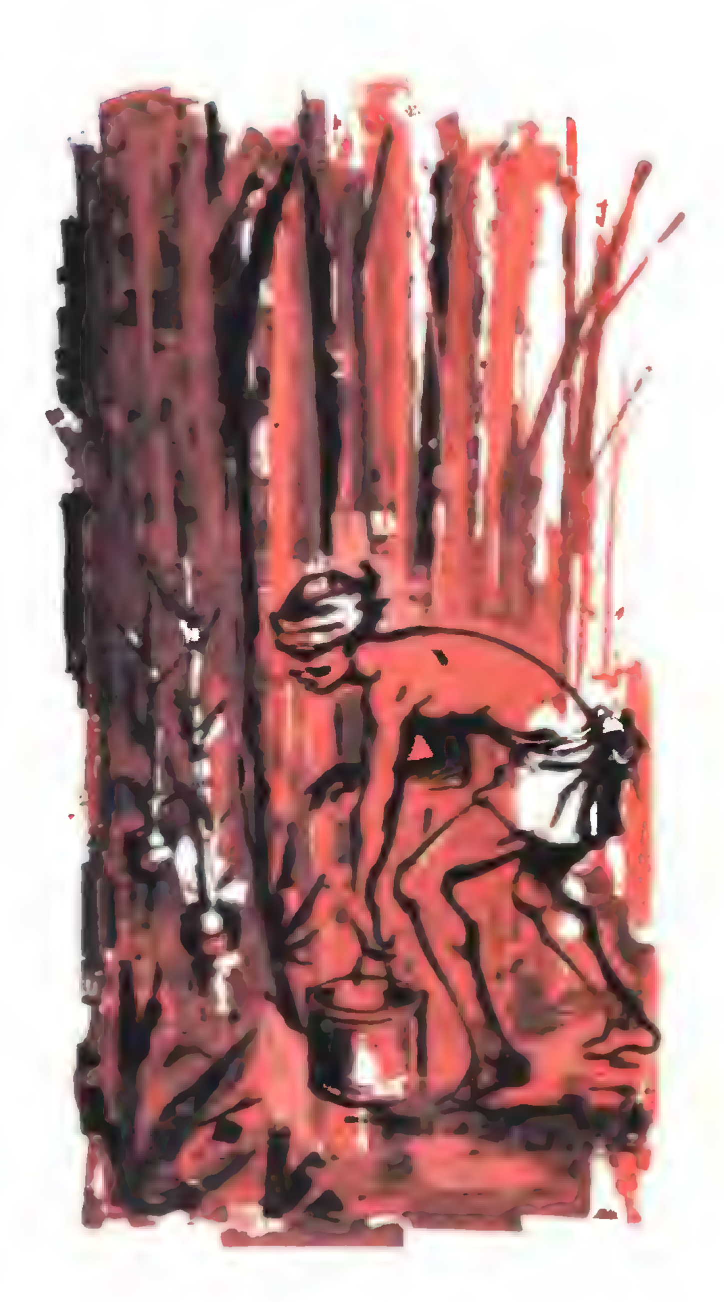
El caucho natural es un producto orgánico de origen vegetal.

Esta sustancia se obtiene de las incisiones practicadas en la corteza de ciertos árboles tropicales (el héveas principalmente), de las que fluye en estado líquido. Este líquido se solidifica por sí solo, sin que para ello deba mediar ninguna operación. El caucho en bruto es un material sólido que presenta gran resistencia a la rotura junto a su particularidad más característica: su gran elasticidad.

Su peso específico varía entre 0'97 y 0'98; es, pues, un material un poco menos pesado que el agua.

Es combustible y el calor lo ablanda cuando la temperatura alcanza 150° C.

El caucho es una sustancia que se disuelve con facilidad en alcohol, formol y cloroformo. De ahí que el caucho natural resulte un material poco apropiado para ofrecer sus servicios a ciertas industrias químicas, donde se producen emanaciones de vapores alcohólicos, de formol, etc.



EL CAUCHO VULCANIZADO

Acabamos de citar uno de los inconvenientes del caucho natural, inconveniente que desaparecen en cuanto se le somete a un proceso de vulcanización.

Se dice que un determinado material se ha vulcanizado cuando ha sido tratado por un proceso que, a grandes rasgos, consiste en someterlo a un calentamiento con azufre.

El caucho vulcanizado se convierte en una sustancia sólida muy elástica y resistente. Además, es prácticamente indiferente a los cambios de temperatura y casi insoluble; y si presenta algún inconveniente remarcable, éste es el ser sensible a la luz. La luz, en efecto, es perjudicial para los objetos de caucho.

Durante el proceso de la vulcanización, y a fin de aumentar su resistencia, se añaden al caucho pequeñas cantidades de otras sustancias, tales como selenio, teluro, anilina, negro de humo, etc.

La principal aplicación del caucho (en cuanto a los servicios que puede prestar en el campo de la electrotecnia) está en su acción aislante. El caucho es, en efecto, un buen aislante que se emplea, sobre todo, como recubrimiento de los conductores eléctricos.

Ciertos elementos propios de la pequeña aparamenta eléctrica (sobre todo aquellos que por su aplicación están expuestos a tratos poco delicados, como es el caso clásico de las clavijas de enchufe) se fabrican también de caucho. Todos sabemos la amplísima gama de útiles que actualmente se fabrican con caucho, y creemos que sobre ello no hace falta insistir demasiado.

EL CAUCHO SINTETICO

La moderna industria química tiene en su haber uno de los adelantos técnicos más formidables de cuantos se han conseguido en bien de la industria y del progreso en general: el descubrimiento de los procesos de síntesis, que son todo lo contrario de los procesos de análisis. Por un análisis se llega al conocimiento de todas las sustancias que intervienen en un determinado material de origen natural. Por la síntesis se toman estas sustancias y se consigue formar, de manera artificial, una materia de características iguales o casi idénticas a las que tenía la obtenida por medios naturales. Es más: algunas sustancias sintéticas ofrecen a la industria cualidades muy ventajosas que no tiene la sustancia natural.

Esto es, precisamente, lo que sucede con el caucho sintético. Obtenido por procedimientos químicos de síntesis, sustituye al caucho natural y le aventaja en algunas aplicaciones por la sencilla razón de estar libre de las impurezas que contiene aquél.

Los diferentes tipos de cauchos sintéticos que actualmente se fabrican reciben el nombre genérico de BUNA, palabra formada por las sílabas *bu* de *butadieno* y *na* de *natrium-sodio*, que son los dos elementos que intervienen en el proceso de síntesis que estamos comentando.

Existen varias clases de bunas, que reciben una denominación particular, siendo las más corrientes la buna 5, la buna 85 y la buna 115. La buna puede vulcanizarse y tratarse de forma muy parecida a como se hace con el caucho natural.

Las propiedades de la buna, en comparación con las del caucho natural, quedan reflejadas en la siguiente tabla.



El caucho sintético, material aislante de múltiples aplicaciones.

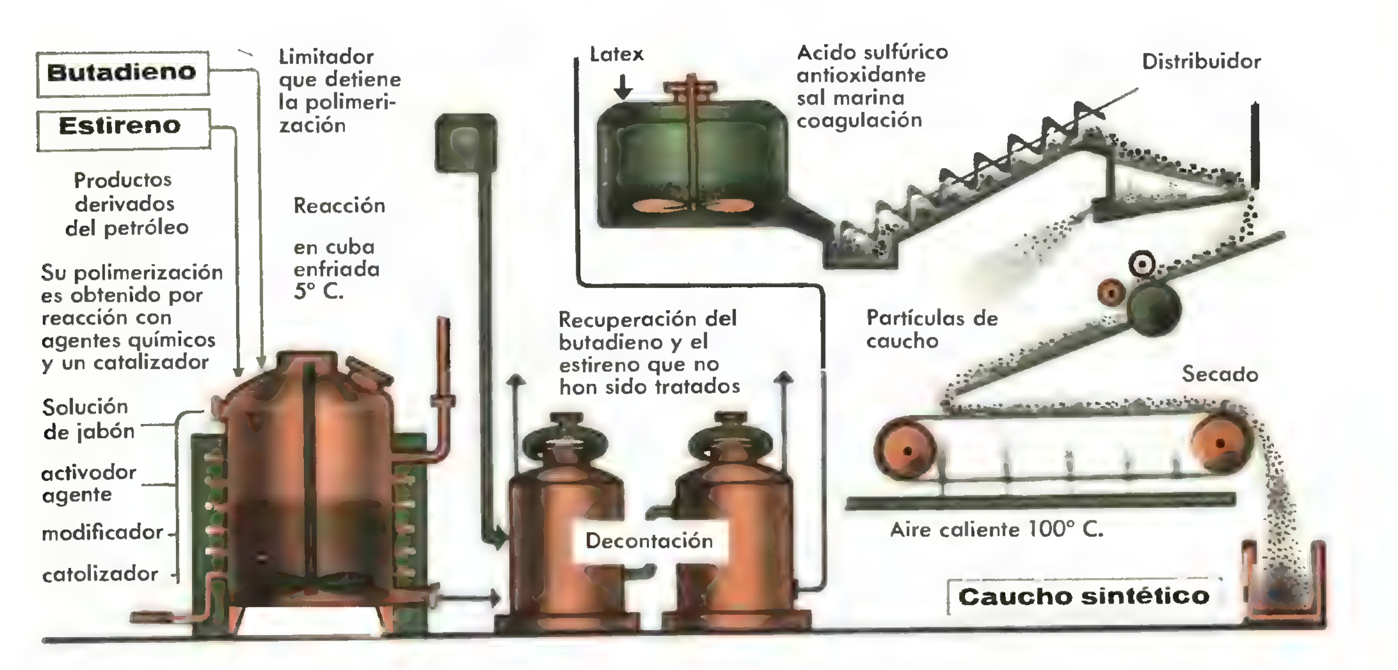
Ya hemos dicho que el caucho sintético presenta algunas ventajas con respecto al caucho natural, y sobre todo en lo relativo a su grado de deformación. La buna, en efecto, tiene un grado bastante menor de deformación permanente ante la presión que el caucho natural, lo que redunda en una menor velocidad de envejecimiento. También es superior su resistencia a la penetración del agua y — cosa muy importante en electrici-

	Resistencia tracción	Alargamiento	Resistividad a 20° Ω/mm/cm²
Caucho natural	260	600	10^{14} a 10^{15}
Buna 5	275	650	10^{14} a 10^{15}
Buna 85	175	600	10^{14} a 10^{15}
Buna 115	200	700	10^{14} a 10^{15}

dad — resiste mejor el ataque a que le somete el ozono que se produce alrededor de los conductores de alta tensión. El ozono, dicho sea de paso, es una forma alotrópica del oxígeno. Mientras la molécula de oxígeno está formada por dos átomos del elemento, la molécula de ozono lo está por tres.

Siguiendo con este capítulo de ventajas, debemos decir que la buna resiste el calor y los vapores de gasolina mucho mejor que el caucho natural.

Por todas estas razones, el empleo de la buna o caucho artificial es más ventajoso que el del caucho natural para recubrir hilos conductores y cables flexibles subacuáticos, así como para ser utilizada en juntas para motores de explosión y en multitud de aplicaciones que silenciamos para no hacer demasiado larga nuestra lista.



LA EBONITA

Es el color del material la cualidad que le ha dado el nombre. La ebonita es de color negro absoluto. Podemos decir que es una especie de goma dura (no elástica) formada por caucho y azufre sometidos durante la obtención del producto a un tratamiento térmico y de presión.

La ebonita es un magnífico aislante cuya resistividad alcanza valores de 50.000 MΩ cm/cm². Su rigidez dieléctrica varía con el espesor de la pieza ensayada y alcanza valores del orden de los 300 KV/cm con un espesor de 0'1 mm. Cuando el espesor se lleva a 2 mm la rigidez dieléctrica

alcanza los 1.000 KV/cm, dato muy expresivo que muestra su utilidad.

La ebonita se encuentra en el comercio en planchas, tubos, barras u otras formas corrientes.

La ebonita es un material bastante frágil, cuya fractura tiene una calidad granulosa y un color gris oscuro. Aunque puede cortarse, pulirse y taladrarse, la ebonita debe trabajarse con cuidado para evitar que su excesiva fragilidad ocasione roturas indeseables. Para curvar piezas de ebonita deben sumergirse en agua hirviendo.

La ebonita obtenida a partir del caucho sintético tiene mayor resistencia mecánica y mejores propiedades aislantes que la que se obtiene con caucho natural.

AISLANTES TEXTILES

Llamamos aislantes textiles a los materiales de naturaleza textil (fibras empleadas en la fabricación de hilaturas y tejidos) que de una u otra forma se utilizan en electricidad para aprovechar sus propiedades aislantes.

Las fibras textiles más utilizadas en electricidad son el algodón, la seda, el lino y el yute.

EL ALGODON

Es una fibra natural, blanca, extraída de la planta de su mismo nombre, donde se encuentra rodeando las semillas. Las fibras de la flor del algodón tienen una. longitud comprendida entre 10 y 40 mm.

El algodón es una sustancia con una cierta higroscopicidad (poder de absorción del vapor de agua); es del orden del 8 % aproximadamente.

SEDA NATURAL

La seda natural es una fibra obtenida de los capullos del llamado gusano de seda. La seda natural es una de las fibras textiles más antiguas de cuantas se conocen; su descubrimiento se atribuye tradicionalmente al antiguo Oriente.

La seda es una fibra muy higroscópica que puede absorber un 5 % de su peso en diez horas.

LA SEDA ARTIFICIAL O RAYON

Desde finales del siglo pasado se fabrica, en escala industrial, un tipo de fibra que se conoce en todas partes con el nombre de rayón o seda artificial.

Esta fibra, de características parecidas a las que distinguen a la seda natural (no nos referimos a la calidad estética de las telas con ella



La caja exterior de algunas baterías está fabricada de ebonita.



obtenidas), se obtiene tratando convenientemente sustancias celulósicas (madera, paja, celulosa del algodón, etc.).

El ácido nítrico y la sosa cáustica o acética son las sustancias básicas del tratamiento de la celulosa.

La seda al acetato es la menos higroscópica, lo que la hace adecuada en especial para la obtención de recubrimientos aislantes de hilos conductores, en cuya misión sustituye ventajosamente al algodón y a la seda natural; a la segunda, sobre todo, por el factor precio (la seda artificial es mucho más barata). El rayón es un buen aislante en conductores de cobre y aluminio destinados a los devanados de inductores e inducidos de máquinas eléctricas.

EL LINO

Es una planta textil cultivada desde la más remota antigüedad con el único fin de aprovechar sus fibras, de las que se obtienen los tejidos tradicionalmente denominados de hilo. Las fibras de lino son más resistentes que las del algodón; su longitud varía de 30 cm a un metro.

La fibra del lino, transformada en hilo, es muy indicada (entre otras muchas cosas) para la fabricación de vendas y cintas que luego, en electricidad, se emplean para los encintados aislantes de ciertos devanados, los cuales, una vez recubiertos, se impregnan con barniz.

EL CAÑAMO

Otra planta textil, de cuya parte leñosa pueden separarse unas fibras de las que obtener hilos y tejidos gruesos, de calidad más basta que la de los que se obtienen del lino.

EL YUTE

Esta planta es propia de terrenos húmedos. Del yute, y a través de una operación llamada cardado, se obtiene la estopa, profusamente empleada como material de relleno en juntas de tuberías, por ejemplo. Del yute se obtiene una tela muy resistente que se emplea, entre otras cosas, para formar una de las capas protectoras de los conductores subterráneos.

LOS AISLAMIENTOS TEXTILES

Los recubrimientos de conductores obtenidos de productos textiles deben cumplir ciertas condiciones que los hagan aptos para la misión que se les encomienda.

Los hilos textiles que recubren los conductores forman unos trenzados o arrollamientos helicoidales en una o más capas. Si el recubrimiento es de más de una capa, la dirección que siguen los hilos de cada una de ellas es contraria a la de las contiguas.

Otra cuestión importante es la separación entre los hilos que forman la protección. Estos hilos deben quedar lo bastante próximos como para evitar que los dobleces que puedan requerir los hilos conductores separen demasiado la trama del recubrimiento y los dejen al descubierto.

Las protecciones textiles pueden impregnarse con breas o barnices a fin de aumentar su tenacidad, estabilidad y rigidez dieléctrica.

Quizás el mayor inconveniente de las protecciones textiles es el sobreespesor que producen, que aumenta en forma considerable el diámetro total de hilos y cables conductores. Un sobreespesor excesivo representa aumentar el volumen total de las máquinas y demás ingenios que requieren devanados, lo que repercute en el precio de coste de tales fabricados.



Cables conductores con aislamiento exterior de algodón trenzado.

En este sentido, los aislantes textiles se ven desbancados por otras sustancias que permiten obtener capas finísimas de aislante en la superficie los conductores. Barnices y resinas sintéticas son las más características.

Por supuesto, el espesor del material aislante puede ser un dato interesante a la hora de escoger entre uno o otro. Este espesor está ligado o relacionado con la tensión de ruptura. Es decir: se trata de saber la tensión máxima que podrá soportar un aislamiento (textil en nuestro caso) cuando se aplica una tensión creciente entre dos conductores aislados y retorcidos.

El espesor de dos capas de aislante textil, según el material, es por término medio el que se indica:

RAYÓN (dos capas)	0'14 mm
SEDA NATURAL (dos capas) . .	0'08 mm
ALGODÓN (dos capas)	0'18 mm

Las tensiones de ruptura de estos aislantes textiles son:

RAYÓN	43 KV/cm
SEDA NATURAL	77 KV/cm
ALGODÓN	102 KV/cm

Estos datos se obtienen aplicando a los extremos de los dos conductores, retorcidos entre sí, una tensión que se aumenta con lentitud hasta que se produce la perforación del aislante. Los valores anteriores se han obtenido con una corriente alterna de 50 c/s. Este dato (la frecuencia) es decisivo para estos cálculos, dado que las altas frecuencias consiguen la perforación de los aislantes sin necesidad de contar con tan altas tensiones. Es decir: para un mismo aislante, la tensión de perforación será menor cuanto más alta sea la frecuencia de la corriente.

AISLANTES DE BASE CELULOSICA

Como su nombre indica, se trata de sustancias aislantes cuyo principal componente es la celulosa. La celulosa es una materia insoluble en agua, no volátil y que se descompone por el calor.

La celulosa forma parte de la madera, del algodón, de la mayoría de vegetales y de algunos seres del reino animal. Son de base celulósica las conchas de moluscos y crustáceos.

Con sustancias celulósicas se fabrican materiales tan necesarios a la vida moderna como las fibras artificiales, el papel y el cartón, la celofana y el celuloide.

LA MADERA

Conocemos como madera la materia de los troncos de los árboles. Está formada por celulosa y menor cantidad de otras sustancias, como almidón, tanino, resinas, alcánfor, aceites, etc., que le confieren propiedades muy variadas.

Su comportamiento frente a las tensiones eléctricas depende de la dosificación de las sustancias mencionadas y de su estructura interna. Todos sabemos de la existencia de múltiples tipos de madera y de las grandes diferencias de todo orden que median entre ellos.

Sin embargo, es posible obtener algunos valores que representen un promedio entre los que dan las distintas maderas. La siguiente tabla nos ilustra sobre el valor, en la madera, de la constante dieléctrica, de la rigidez dieléctrica y de la resistividad.

El principal inconveniente de la madera, considerada como aislante, es la facilidad de absorber la humedad del ambiente. Para su utilización como material aislante es imprescindible un proceso de secado, que por vía natural puede durar incluso años.

El tronco recién cortado, en efecto, contiene aún la savia, líquido acuoso que lleva en suspensión las sustancias alimenticias que nutren las

VALORES	En el sentido de las fibras	Perpendicular a las fibras
Constante dieléctrica	2'5 a 4'5	3'5 a 7'5
Rigidez dieléctrica (espesor 30 mm) .	25 KV/cm	64 KV/cm
Resistividad (madera seca)	50 a 1000 MΩ/cm/cm²	



células vegetales; y para eliminar la humedad que aquélla supone se somete a los troncos o a los tablones que de ellos se hayan obtenido a distintos procedimientos (apilado, estufado) que reducen bastante el tiempo de secado.

Para aumentar la eficacia del material, con vistas a la función específica que de él se pretende y de acuerdo también con la humedad del ambiente donde quedará emplazado, la madera se somete a diversos tratamientos que resumimos en un escueto cuadro sinóptico. Falta decir, empero, que todos estos tratamientos requieren la condición previa de trabajar con madera seca.

La madera ha sido material insustituible para la fabricación de postes para líneas aéreas y para pequeños tableros aislantes donde fijar la pequeña o gran aparamenta eléctrica.



Chapas de madera apiladas con separadores para la eliminación de la humedad.

TRATAMIENTOS DE LA MADERA

TABLEROS Y PIEZAS

(impermeabilización y aumente de la rigidez dieléctrica)

- Impregnación por inmersión en parafina fundida.
- Inmersión en aceite de linazà.
- Estufado e inmersión en aceite de linaza.
- Estufado en inmersión en cuba a presión con aceite de linaza.
- Estufado al vacío e inmersión en aceite de transformador caliente.

POSTES

(para evitar que se pudran por su extremo indicado en la tierra)

- Carbonización superficial del extremo en contacto con la tierra.
- Impregnación por inmersión en alquitrán caliente.
- Pintado con varias capas de brea.
- Inyección de líquidos (sulfato de cobre, por ejemplo) que al solidificarse obtruyen los poros.
- Inyección de líquidos desinfectantes que evitan la ploriferación de microorganismos.

LA FIBRA

Es un material que se obtiene al comprımir a alta presión y en caliente una mezcla de polvo de madera, caucho y otras materias conglomerantes.

El comercio lo suministra en forma de barras y planchas de distintos gruesos y colores.

La fibra seca es un magnífico aislante, pero pierde sus cualidades en contacto con la humedad; es una sustancia higroscópica en grado sumo.

Existe una fibra vulcanizada en dos calidades: la flexible y la dura.

Este aislante se emplea preferentemente para la fijación de bornes y como soporte de piezas conductoras en general.



EL PAPEL

La industria del papel, dado el gran número de aplicaciones que actualmente tiene el material, es una de las más importantes y significativas del mundo moderno.

El papel se fabrica a partir de la celulosa contenida en la madera, trapos, paja y papeles viejos, de donde se puede recuperar. Por su estructura, el papel es una sustancia fibrosa con más o menos porosidad.

La materia prima se transforma en pasta de papel que, a través de un proceso preparatorio, llega a unos rodillos que la extienden en hojas más o menos gruesas al tiempo que se impregna de sustancias convenientes y se seca.

Los papeles de algodón son los mejores para emplearlos como aislantes eléctricos.

Pero como sea que el papel absorbe humedad, sus propiedades aislantes quedan supeditadas a la cantidad de agua que lleve en absorción y que, en condiciones normales, puede alcanzar un 10 % de su volumen. Entonces el poder dïeléctrico disminuye muchísimo.

Para que el papel sea realmente aislante, debe quedar impregnado de aceite o barniz líquidos, que desplazan el aire de los poros al ocupar todo su volumen.

Para obtener una buena impregnación los papeles se someten a un secado por temperatura y vacío que garantiza el total desalojamiento del aire de los poros. En estas condiciones la sustancia de impregnación ocupa la totalidad del volumen de los poros.

Los papeles impregnados se emplean para el aislamiento de cables, como separación de los devanados de transformadores, y como dieléctrico de condensadores y aislamientos en general.

CARTON Y PAPEL PRESSPAN

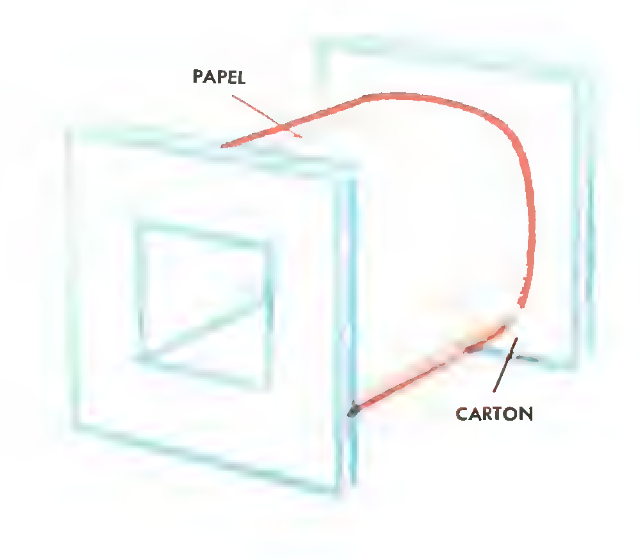
Es un papel o cartón (depende de su grosor) obtenido de la fibra de madera y con muy limitada cantidad de otras sustancias. De ahí que sea un papel o cartón muy rico en celulosa.

Su especial textura brillante se logra con un proceso de vidriado o endurecido superficial obtenido en laminadoras especiales. De ello depende su escasísima higroscopicidad.

El cartón presspan es químicamente neutro.

Sus cualidades aislantes se han revelado como óptimas para aislamientos de baja tensión en interruptores, clavijas de enchufe, carretes de electroimanes y transformadores, etc.

Se vende en tiras, hojas o en forma de piezas troqueladas de distinta utilidad: arandelas, tubos, piezas con taladros, etc.



Las hojas de presspan se fabrican en gruesos comprendidos entre 0'1 mm y 5 mm y en medidas estandarizadas: 70 × 100 cm, 75 × 105, 100 × 140 y 100 × 200.

Existen otros cartones cuyas propiedades se ajustan a alguna necesidad concreta: cartón cuero y cartón absorbente, por ejemplo.

LA CELOFANA

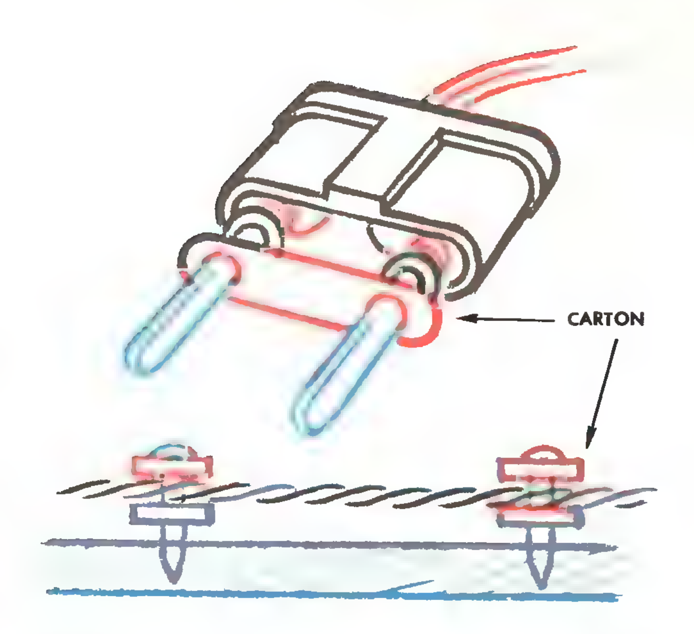
Este otro material celulósico es tan conocido como empleado; mas, desde el punto de vista que aquí nos interesa, su margen de utilidad es más bien limitado.

La celofana se presenta en hojas delgadísimas y transparentes, incoloras o coloreadas sin que por ello pierdan su transparencia.

Pese a su escasísimo grosor ofrece una resistencia mecánica muy aceptable; de 5 a 7 Kg/mm². Su coeficiente de alargamiento es notable; varía entre un 15 y un 40 %.

La celofana es resistente a la acción de la gasolina, aceites, ácidos y bases alcalinas, que no le atacan cuando están diluidos.

En electricidad se utiliza como protección aislante en conductores de baja tensión, disponiendo una capa de celofana entre dos de material textil o de barniz. Este último tipo (celofana entre dos capas de barniz) resulta especialmente resistente e indicado para devanados.



El cartón forma parte del pequeño material en piezas aislantes de carácter auxiliar.

Debemos hacer constar que en estos apartados se trata de unos materiales aislantes cuya utilidad ha quedado restringida por la aparición de nuevas materias, pero que merecen ser conocidos tanto por su interés técnico como por el servicio indudable que prestaron.

EL CELULOIDE

He ahí otro material celulósico que fue ampliamente utilizado y que ha dejado de serlo al descubrirse nuevas sustancias de sus mismas buenas cualidades acompañadas de otra: ser mucho menos inflamables.

El celuloide, en efecto, se inflama a los 150° C, lo que, pese a sus buenas condiciones dieléctricas, no lo hace aconsejable como aislante.

Es transparente y la temperatura lo reblandece hasta el punto de conferirle plasticidad. Se disuelve en acetona, lo que se aprovecha para la soldadura de los posibles cortes y desperfectos en piezas celulósicas, utilizando como pegamento una disolución de celuloide en acetona. Esta disolución seca rápidamente cualidad que facilita extraordinariamente las soldaduras.

ETILCELULOSA

Como se deja entender por su nombre, se trata de otro material aislante derivado de la celulosa.

La etilcelulosa es un material muy resistente a los esfuerzos mecánicos.

Es poco higroscópica y muy resistente al calor. Su rigidez dieléctrica es de 60 KV/mm y su resistividad media es de 0'6 × 108 MΩ/cm/cm².

Se emplea para la fabricación de hilos aislados, tubos y como aislamiento de motores eléctricos. En general es un buen aislante para circuitos de baja tensión.

Por sus propiedades elásticas y por su resistencia a la acción química de los aceites minerales, resulta un buen aislante para transformadores sumergidos en baño de aceite.

De etilcelulosa se fabrican piezas moldeadas, aunque para aumentar la fluidez del líquido de la fusión (fluidez necesaria para que el líquido llegue a todos los rincones del molde) se le añaden otras sustancias que reducen un poco sus propiedades aislantes. Tal reducción, pero es prácticamente despreciable, pudiéndose considerar que su rigidez dieléctrica no ha variado.



Tubos fabricados con materias celulósicas para servir como conductores aislantes en tendidos de baja tensión.



Existen cintas y láminas celulósicas y adhesivas aptas, entre otras cosas, para el encintado de máquinas eléctricas.



TROLITA

Finalmente, vamos a mencionar este material celulósico de estructura córnea. Se prepara en varios colores, pero con ello pierde poder dieléctrico. En este sentido son mejores las variedades incoloras o blancas.

Es una sustancia higroscópica que se hincha en contacto con el agua. Resiste bien la gasolina y los aceites, pero se disuelve en éter, alcohol, acetona, ácidos y bases alcalinas, lo que restringe sus posibilidades de aplicación.

MATERIALES

Resinas aislantes, naturales y sintéticas.

Barnices aislantes.

Aceites aislantes.



LECCION Nº 8

materiales eléctricos

8

LAS RESINAS NATURALES - CLASIFICACION DE LAS RESINAS

Las resinas naturales son productos de origen orgánico (vegetal o animal) que se obtienen de la exudación de vegetales muy diversos, o que son de origen fósil.

El aprovechamiento de las resinas como material eléctrico depende en gran parte de su tratamiento industrial, que mejora sus propiedades físicas. Las resinas naturales, sometidas a un cierto tratamiento — que en síntesis representa una combinación del producto natural con glicerina —, adquieren mayor dureza, más resistencia a la luz y a los agentes atmosféricos y reciben el nombre de *resinas naturales modificadas* o *resinas eterificadas*.

Las resinas, según sea su procedencia y cualidades, tienen nombres que les son propios. Ciñéndonos a las resinas más representativas podemos establecer la clasificación que puede ver en forma de cuadro sinóptico.

Digamos, de entrada, que las resinas son la base para la preparación de barnices, materiales de impregnación y láminas de diverso espesor, cuyas propiedades dieléctricas son muy apreciadas en electricidad.



Nuestra misión inmediata debe ser la descripción sucinta de cada una de estas sustancias y de sus aplicaciones más características.

AMBAR

Es una de las resinas naturales más características y apreciadas. Se conocen dos modalidades: el *ámbar amarillo* y el *ámbar gris*.

El ámbar amarillo, llamado también *succina*, es una sustancia de origen fósil, dura, frágil y casi transparente. Tiene aspecto parecido al de la cera.

Su color (de ahí su nombre) es amarillento, dentro de una gama que abarca del amarillo claro al rojo. Esta sustancia, es cosa sabida, ha dado nombre a la electricidad (elektron se llama en griego) por la propiedad que tiene de atraer cuerpos pesados cuando se electriza por frotamiento.

El ámbar gris se encuentra en la superficie del mar en forma de masas compactas de aspecto ceroso. Su color es gris. Este ámbar no es otra cosa que las concreciones intestinales de ciertos cetáceos, formados por las secreciones negras de los moluscos de que tales cetáceos se alimentan.

El ámbar es el primer ingrediente, junto con las ceras y otras resinas, para la fabricación de muy buenos barnices.

COLOFONIA

Es una resina sólida de aspecto similar al caramelo de azúcar. Como él, tiene color amarillento.

La colofonia es el residuo de la destilación de la savia de algunos árboles coníferos, muy en especial del pino. Se presenta en forma de masas

resinosas de color amarillo parduzco; aunque insoluble en el agua, resulta, en cambio, extremadamente soluble en alcohol y éter.

La colofonia se emplea como material base en la fabricación de barnices. Una mezcla de colofonia y aceites minerales es una buena masa de impregnación para las cubiertas aislantes de cables eléctricos.

COPAL

No puede hablarse del copal como resina única en su género, sino que, dada la gran variedad de resinas con propiedades muy diversas que pueden denominarse con el mismo sustantivo, resulta más exacto hablar de *resinas tipo copal.*

Se trata de resinas de origen vegetal que provienen de la exudación de plantas coníferas, aunque los yacimientos de explotación comercial son fósiles de plantas, algunas de las cuales han desaparecido ya. Se encuentran en terrenos acuosos o pantanosos, formando masas cuyo tamaño no acostumbra superar el de un huevo. Sin embargo, aparecen pedazos de copal que alcanzan 15 ó 20 Kg de peso.

Las muchas variedades de resinas tipo copal se deben a las condiciones específicas bajo las que haya podido tener lugar el proceso de fosilización.



La colofonia es un producto de la secreción de algunos árboles coníferos (de la familia del pino).

Los copales más característicos son el *copal duro* de Zanzíbar, Madagascar y Guayana, y el *copal semiduro* de Angola, Congo, Nueva Zelanda, Filipinas y Borneo, entre otros países productores.

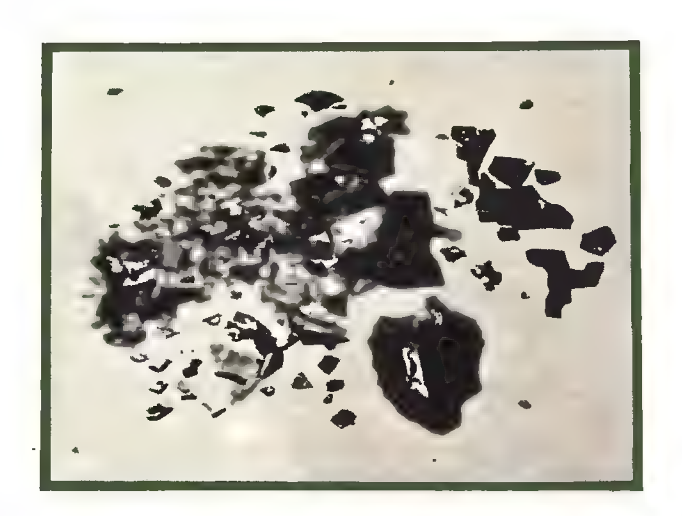
También el copal proporciona excelentes barnices.

GOMA LACA

La goma laca natural es un producto de procedencia animal. Se trata del excremento de un insecto que a millares cubre las ramas de algunos árboles, de cuya savia se alimenta, de las Indias Orientales. La larva de estos insectos segrega una sustancia líquida que una vez solidificada es la goma laca.

Esta resina se encuentra en el mercado en forma de granos, y más corrientemente en forma de escamas. Ambas formas presuponen un proceso de purificación que ha eliminado residuos nocivos de la goma laca.

La goma laca es soluble en alcoh[illegible] solución que resulta un barniz económico y [illegible]iente. El barniz de goma laca es el impregnador corriente de los papeles y cartones que se utilizan para la fabricación de láminas o tubos aislantes.



Escamas de goma laca. Esta es la forma más común en que se expende en el mercado.

LACA

Es un barniz natural que segregan algunos árboles del Japón, China e Indochina. Se obtiene por sangrías horizontales practicadas en los árboles suficientemente desarrollados. La savia que segregan las incisiones se somete a una operación de secado que elimina el agua que contiene

Las lacas contienen una sustancia, que no se ha identificado con exactitud, que actúa violentamente sobre la piel y produce ampollas muy dolorosas.

Es curioso que la laca se seque mucho mejor en ambientes húmedos que en ambientes secos, como es normal en los demás barnices, tanto de origen animal como vegetal.

RESINAS SINTETICAS

Bajo la denominación de *resinas sintéticas* agrupamos los productos que, obtenidos por procesos de síntesis, tienen cualidades similares a las de las resinas naturales. Algunas resinas artificiales (las fenólicas, por ejemplo) arrojan análisis idénticos a los de las resinas naturales que imitan.

En las resinas sintéticas, la evaporación de los componentes volátiles, la oxidación y la polimerización (formación de componentes de gran peso molecular partiendo de un solo tipo de moléculas y sin la formación de subproductos) se realizan por medios industriales con el intento de cubrir las variadísimas propiedades que cada aplicación exige. Así, por ejemplo, las resinas plásticas aptas para la formación de piezas por moldeo deben ser completamente innocuas (no corrosivas) para el metal de que está formado el molde. Serán también fáciles de derretir y de rápido endurecimiento en el interior del molde, para proporcionar la necesaria rapidez al proceso industrial.

Las resinas sintéticas destinadas a la fabricación de barnices deberán ser resistentes al agua, tener punto de fusión elevado, ser fácilmente solubles en los disolventes ordinarios, estables a la luz, transparentes, etc.

Estas resinas pueden obtenerse por las reacciones químicas entre varios componentes que, al combinarse entre sí y por eliminación de moléculas de los compuestos resultantes, dan lugar a gran variedad de resinas con distintas propiedades.

La polimerización de determinadas sustancias es otro sistema de obtención de resinas sintéticas. Las moléculas de una misma sustancia reaccionan entre sí para formar cadenas moleculares que conservando para la sustancia su misma fórmula, le confieren distintas propiedades físicas.

RESINAS DE CUMARONA

Las resinas de cumarona forman un grupo de resinas sintéticas obtenidas al tratar los productos neutros de la destilación de la hulla con ácido sulfúrico, fosfórico o cloruro de aluminio. La conversión en resina de estos productos se hace al aire libre o bajo presión.

Las resinas de cumarona son de color claro, de dureza variable, solubles en benceno, en tolueno y en aceite de linaza.

Su empleo se circunscribe a la fabricación de barnices y piezas moldeables.

RESINAS FENOLICAS

Forman un grupo de resinas sintéticas de amplio campo de aplicación, obtenidas por condensación entre los compuestos químicos, llamados fenoles y aldehídos, producidos en la destilación del alquitrán. Según el fenol que se emplee para su obtención, así serán las propiedades específicas de la resina resultante. Los tipos más representativos son:

RESINAS INSOLUBLES

La más conocida es la TIOLITA. En polvo, a la temperatura de 150° y a presión, el material se



Piezas moldeadas fabricadas con resinas sintéticas.

polimeriza y endurece dando piezas moldeadas de gran dureza e insolubles, resistentes a los elementos químicos, infusibles y que no absorben húmedad.

La tiolita, antes de su polimerización, se disuelve en alcohol y acetona formando barnices de gran poder aislante. La resistencia de la tiolita vale 300×10^8 MΩ cm/cm².

RESINAS SOLUBLES

Existen dos grupos: las solubles en disolventes normales, que se utilizan ventajosamente como sustitutivos de la goma laca, y las solubles en aceites obtenidos del petróleo y de la hulla, así como en aceites secantes. En este grupo de resinas encontramos las que se conocen en todas partes con el nombre de baquelitas.

Generalmente se consideran tres tipos de baquelitas, cuya denominación es la siguiente:

Baquelita A o resol.
Baquelita B o resitol.
Baquelita C o resita.

La baquelita A se obtiene por debajo de los 50° de temperatura, resultando una resina líquida, viscosa, pastosa o sólida incluso. Es soluble en los disolventes siguientes: alcoholes, acetonas, fenoles y glicerina. En consecuencia puede utilizarse como barniz.

La baquelita B es un producto más condensado que la baquelita A. Es una sustancia sólida y desmenuzable, insoluble en casi todos los disolventes. En caliente es moldeable y plástica.

La baquelita C es el estado final de la condensación. Se trata de un material estable y duro, totalmente insoluble, absolutamente impermeable e inalterable ante la mayoría de agentes químicos. Sólo el ácido sulfúrico concentrado, la potasa y la sosa hirviendo son capaces de atacarla. Es ininflamable y altamente resistente al calor, pudiendo resistir temperaturas de hasta unos 300° C.

La resita es un excelente aislante eléctrico. Su inconveniente más acusado es su falta de elasticidad y flexibilidad.

Todas las baquelitas tienen amplia aplicación en el campo de la electricidad. La baquelita A, ya lo hemos dicho, como barniz; la B como gran aislante, ya que su poder dieléctrico es superior al de la ebonita.

La baquelita C, en fin, como material moldeable en la fabricación de la enorme cantidad de componentes de aparamenta eléctrica de todos conocidos.



Una gran variedad de componentes eléctricos son objetos de baquelita moldeada.

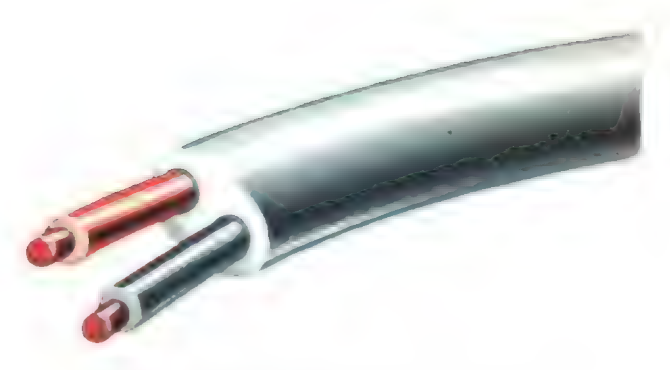
RESINAS VINILICAS

Estas resinas sintéticas se obtienen por reacción entre el acetileno y el ácido acético o clorhídrico. Según sea el ácido obtendremos acetato de vinilo o cloruro de vinilo.

Con acetato de vinilo se obtienen barnices muy apreciados por su dureza y flexibilidad.

El cloruro de vinilo polimerizado es la sustancia de la que se fabrican tantos y tantos productos que, en términos vulgares, se llaman «de plástico». Proporciona una sustancia parecida al caucho, pero mucho más resistente a la gasolina, aceites y ácidos, lo que la hace especialmente idónea para recubrir conductores eléctricos, en cuya misión son cada día más empleados el cloruro de vinilo y sus derivados.

La rigidez dieléctrica de las resinas vinílicas oscila de 16 a 40 KV/mm. Su resistividad es superior a los 10^8 MΩ cm/cm².



Conductores aislados con cloruro de vinilo.

Existe una amplia variedad de estas resinas que resisten perfectamente ambientes corrosivos, cuya oxidación y envejecimiento en contacto con el aire son prácticamente nulos y que se presentan con coloraciones opacas o transparentes. Con ellas se fabrican tubos, cintas y barnices.



Se trata de unas resinas, de las que existe también una gran variedad, obtenidas a partir de la reacción a que dan lugar la urea y los formaldehídos. Son resinas incoloras e inodoras que llegan a tener una gran transparencia.

Se emplean principalmente para la fabricación de paneles o tableros aislantes, los que pueden tener grandes dimensiones. Estos materiales en forma de paneles se conocen con el nombre de *pristal* y *polaplás*.

Su rigidez dieléctrica es de 13 KV/mm y su resistividad es de $1'7 \times 10^7$ MΩ cm/cm². Ambos valores representan una media entre los valores máximo y mínimo.

RESINAS POLIESTIRENICAS

La base para la obtención de estas resinas es el etilbenceno. En este grupo de resinas encontramos el *poliestireno*, de gran significación en el campo de los plásticos. Muchos de los objetos fabricados con plásticos inyectados (moldeo a presión) son de poliestireno.

Se emplea para revestimientos aislantes de piezas y conductores, así como para la obtención de infinidad de piezas inyectadas.

No es atacado por los ácidos ni álcalis y ofrece un mínimo envejecimiento.

Tiene una resistividad de 10^{11} MΩ cm/cm² y una rigidez dieléctrica de 100 KV/mm.

Otra resina de composición similar es el *trolitul*, de aspecto parecido al vidrio pero mucho menos frágil. Con él se obtienen piezas moldeadas de notable resistencia a los ácidos e insolubles para la mayoría de disolventes conocidos.

RESINAS METACRILICAS

Se derivan del ácido acrílico, resultando resinas de gran estabilidad, incoloras y transparentes como el vidrio, pero mucho más ligeras y flexibles, añadiendo a estas propiedades su casi nula fragilidad.

Como la mayoría de las resinas sintéticas, se utilizan, en electricidad, para aislar hilos y cables conductores, así como para formar barnices aislantes. Su rigidez dieléctrica oscila de los 25 a los 30 KV/mm.

BARNICES

Entendemos por barniz la disolución de una resina, sea natural o sintética, en un disolvente adecuado a las características que se desee conferir.

Circunscribiéndonos al campo de la electrotecnia, los barnices son útiles en cuanto se aprovechan sus dos cualidades fundamentales: su poder dieléctrico y su poder conglomerante.

Quizás la aplicación más significativa de los barnices (por los problemas técnicos que en tal aplicación han eliminado) sea la formación de revestimientos aislantes, como única protección, en los hilos de cables destinados al bobinado de transformadores, inductores e inducidos de máquinas eléctricas (dínamos, alternadores, motores). En este mismo campo de aplicación (máquinas eléctricas), tampoco es despreciable su acción aglomerante, que evita que los hilos del bobinado de los rotores pierdan su posición correcta debido a la fuerza centrífuga que adquieren, lo que sería causa de graves averías.

Los devanados y piezas impregnadas en barniz ganan en poder aislante y se hacen menos vulnerables a la humedad. Por tener tapados los poros se hacen menos higroscópicos. Según el barniz empleado, los elementos barnizados quedan protegidos contra la acción de ácidos y demás sustancias corrosivas.

Podemos iniciar el estudio de los barnices a partir de esta clasificación:

BARNICES	Grasos	Secantes a estufa
		Secantes al aire
	Sintéticos	De cumarona
		A base de formol
		Masas fusibles
	Mixtos	Tipo Isolemail
		Volátiles

BARNICES GRASOS

Se fabrican con resinas naturales, aceites secantes y uno o más disolventes volátiles.

Dividimos en dos ramas estos barnices, según sea la forma en que se produce su secado.

Hablaremos de barnices grasos *con secado a estufa*, cuando su rápido secado sólo se obtiene cuando se les somete durante un cierto tiempo al calor de una estufa con circulación de aire; sólo así se produce la oxidación del barniz y su secado.

Diremos que un barniz graso admite *secado al aire* cuando su oxidación se produce sin necesidad de calor, por simple contacto con el aire y con la suficiente velocidad. Estos barnices son los más empleados para aislar devanados para baja y media tensión.

Para los transformadores que deben sumergirse en baño de aceite, los barnices deben oxidarse o endurecerse antes de que tomen contacto con el líquido (aceite para transformadores).

BARNICES SINTETICOS

Sigamos su clasificación:

Los BARNICES A LA CUMARONA se obtienen con las resinas extraídas de los productos idóneos de la destilación del alquitrán.

Los BARNICES SINTÉTICOS AL FORMOL se fabrican a base de formol de polivilino.

Ambos tipos de barniz se aplican en la impregnación del material eléctrico sometido a sobrecargas mecánicas y a temperaturas elevadas. Tal impregnación es especialmente indicada (con barnices sintéticos) en carretes de transformador y en el material sometido a muy alta tensión.

Entre los barnices sintéticos, el de baquelita tiene el inconveniente de su poca elasticidad y flexibilidad, que se traduce en una excesiva fragilidad que los hace fácilmente resquebrajables por acción mecánica y ante las dilataciones y contracciones propias en los cambios de temperatura.

BARNICES MIXTOS

Dentro de esta denominación general encontramos dos tipos de barniz:

Los llamados VOLÁTILES, que son disoluciones de resinas sintéticas o naturales (goma laca, por ejemplo) en un disolvente volátil como alcohol, acetona y otros.

Pueden ser *de componente natural*, cuando su base es una resina natural; o *de componente sintético* si su base es una resina sintética (baquelita, por ejemplo).

A los barnices volátiles se les puede añadir una pequeña cantidad de aceites secantes. Son los



Los barnices no sólo actúan como aislantes, sino también como aglomerantes, manteniendo la posición conveniente en los devanados de máquinas eléctricas.

más utilizados por su fácil manejo y rápido secado.

El segundo tipo de barnices mixtos es el llamado TIPO ISOLFMAIL.

Se presentan en forma de lacas o de soluciones alcohólicas o acetónicas perfectamente neutras, impermeables al agua y a los vapores. Son un sustitutivo perfecto de la goma laca.

Estos barnices se emplean comúnmente para impregnar y aglomerar papeles, amianto y mica y para barnizar núcleos magnéticos. En este sentido permiten suprimir el papel que se utilizaba con el mismo fin, obteniéndose una disminucion en el volumen del orden del 5 por 100.

Las llamadas MASAS COMPUESTAS suelen incluirse en la familia de los barnices sintéticos, de los que se diferencian por carecer de disolvente. Se trata de sólidos que con el calor se hacen lo bastante fluidos como para impregnar a fondo los aislantes que se sumerjan en ellos, solidificándose, una vez se han retirado de la inmersión, al enfriarse el barniz.

ENSAYOS Y PRUEBAS DE LOS BARNICES

La calidad de un barniz depende de que en él se den en grado óptimo una serie de condiciones y propiedades que podemos desglosar en el siguiente cuadro.

Propiedades cuantitativas y cualitativas determinantes del barniz:

- Cantidad de materia seca
- Viscosidad
- Temperaturas y forma de secado
- Impurezas físicas
- Contenido de agua
- Acidez o alcalinidad
- Actividad mútua con aceite de transformadores
- Tensión de perforación
- Elasticidad o flexibilidad

CANTIDAD DE MATERIA SECA

La cantidad de materia seca que, en disolución, contiene un barniz oscila entre un 20 y un 50 por 100. El porcentaje es menor en los barnices de secado al aire y mayor en los barnices con secado a estufa.

El porcentaje de materia seca se entiende sobre la base de la cantidad total de líquido analizado. Por tanto, hablar del tanto por ciento de materia seca representa fijar la cantidad de disolvente.

La cantidad de disolvente será tal que proporcione la fluidez necesaria para el uso a que se destine el barniz.

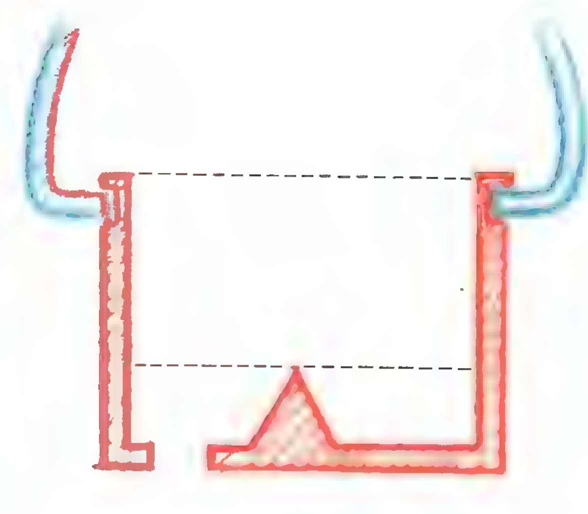
VISCOSIDAD

Entendemos por viscosidad de un líquido el rozamiento entre sus moléculas o entre las distintas capas que podamos considerar de este líquido.

La viscosidad determina la mayor o menor fluidez (a más viscosidad, menos fluidez), por lo cual esta propiedad afecta al grado de penetración que tenga el barniz.

Existen aparatos especiales destinados a medir la viscosidad de un barniz. Son los viscosímetros, algunos de los cuales son extremadamente sencillos y cubren a la perfección las necesidades





Uso y sección de un sencillo viscosímetro que sólo exige la precaución de hacerlo trabajar con la mayor horizontalidad posible.

de taller sin que sea preciso recurrir a otros ingenios de mayor precisión, pero también muy complicados.

En síntesis, la viscosidad de un líquido está dada por la relación entre *la cantidad* del líquido y el *tiempo* que tarda en salir por un orificio de diámetro fijo y previamente determinado.

El barniz que necesite más tiempo para salir por el agujero del viscosímetro (se entiende que todas las pruebas se hacen con la misma cantidad de líquido) será el más viscoso.

El viscosímetro más sencillo no es más que un recipiente de capacidad conocida, en cuya base hay un taladro de diámetro fijo y un cono con el vértice hacia arriba. Para usarlo basta con introducir el aparato en el barniz a estudiar, esperar a que se llene, extraerlo del líquido y contar el tiempo en segundos que transcurre hasta que aparece el vértice del cono.

Los viscosímetros llevan una tabla de equivalencias entre el tiempo del vaciado, la densidad del líquido y las unidades de viscosidad.

La unidad de viscosidad es el *poise*, cuya definición científica es bastante complicada. Para nuestros fines, basta con saber que los viscosímetros dan las viscosidades en poises o *centipoises* (1 poise = 100 centipoises); y que, en el caso concreto de los barnices, la viscosidad será de 5 poises para los de secado al aire y de 7 poises para los de secado a la estufa, considerando que ambas viscosidades se han medido a 20° C.

Temperatura y forma de secado

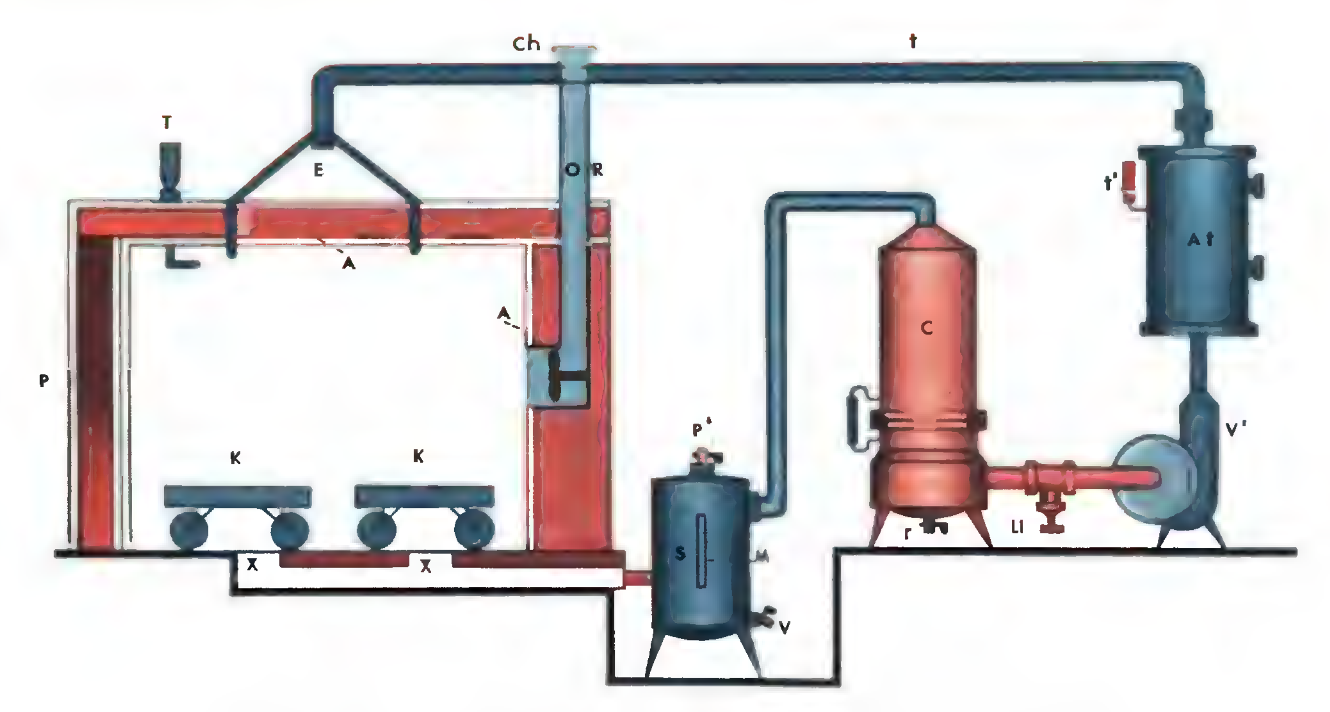
La temperatura y forma de secado, así como la velocidad con que se produzca, es otro dato determinante de un barniz. La temperatura y el tiempo de secado varía ampliamente según sea el tipo de barniz considerado, por lo que en este apartado nos limitaremos a dar cifras tope.

Los barnices de secado al aire, para que puedan considerarse dentro de los límites de calidad debidos a la temperatura y velocidad del secado, deben hacerlo entre los 15 y 25° C, considerando que la humedad ambiente no es superior al 65 por 100. En estas condiciones, el tiempo máximo de secado deberá ser de dos horas para los barnices que sólo están formados por resina y disolvente; en los que llevan, además, aceite (barnices grasos) el tiempo de secado puede alcanzar un máximo de 16 horas.

Para los barnices con secado a la estufa debe exigirse una temperatura de secado entre 110 y 120° C, a la cual debe llegarse de una forma progresiva. El tiempo de secado no deberá exceder de 10 horas.

La comprobación del tiempo de secado se hace con el llamado péndulo de Persoz, que oscila sobre bolas de acero apoyadas sobre una superficie

ESQUEMA DE ESTUFA ATMOSFERICA PARA TRATAMIENTO DE BARNICES GRASOS



E. Entrada de aire. — T. Termómetro. — P. Puerta (con aislamiento para evitar pérdida de calor). — K. Carretilla para transportar los bobinajes. — A. Aislamiento de corcho. — X. Fosa con distribuidores de aire. — R. Válvula de regulación para salida del aire. — P'. Válvula de salida. — S. Separador. — M. Indicador de nivel. — V. Llave de salida. — r. Llave de vaciado. — C. Condensador. — Ll. Llave para aire nuevo. — V'. Ventilador. — At. Calentador o termo del aire. — t. Conducción del aire con aislamiento calorífico. — t'. Termómetro. — Ch. Salida del aire caliente al exterior.

de acero pulido y barnizada con el producto a ensayar. Esta superficie se habrá secado durante el tiempo y bajo las condiciones dictadas por el fabricante. Las oscilaciones del péndulo deberán ser iguales para todas aquellas muestras cuyo tiempo de secado se diga que debe ser igual.

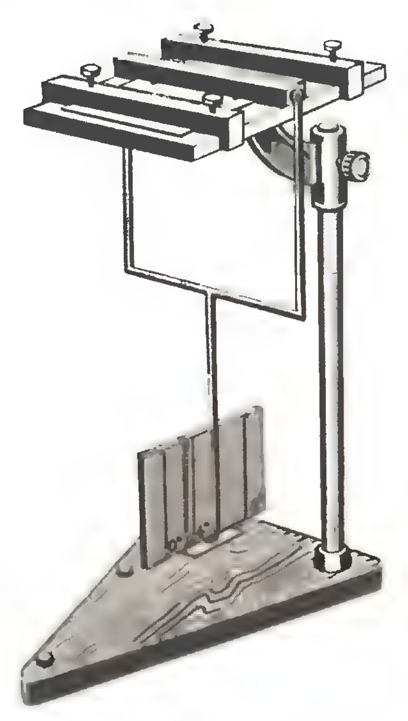
Impurezas físicas

Un buen barniz estará exento de toda partícula sólida capaz de proporcionar un mal acabado e incluso de motivar averías eléctricas en los aislamientos.

Para comprobar la posible existencia de impurezas en un barniz, se hace pasar una muestra (generalmente se toman 250 cm³) por un tamiz formado por alambres de 0'04 mm de diámetro, cuyas mallas están separadas 0'063 mm (separación entre alambres paralelos).

Antes de extraer de su recipiente el barniz a comprobar, debe agitarse concienzudamente para que el depósito de posibles impurezas pueda dar una calidad media y representativa.

Una vez el barniz haya pasado a través del tamiz, se hace pasar un disolvente apropiado que



Péndulo de Persoz.

disuelva el que haya quedado retenido por la malla, extremo que se comprueba cuando no sale coloreado el disolvente. Todo lo que después de esta operación retenga el tamiz, serán impurezas.

Contenido de agua

Los barnices grasos estarán totalmente exentos de agua.

Para comprobar si un barniz contiene agua, se toma una muestra del recipiente, previamente agitado, de unos 500 cm^3 aproximadamente, y se destila con una cantidad igual de un líquido llamado *xilol*. Si existe agua en la mezcla, se produce una separación apreciable a simple vista entre ambos líquidos, debido a que el producto destilado y el agua no son mezclables o miscibles.

Acidez y alcalinidad

La acidez y la alcalinidad de un barniz no pueden sobrepasar las que proporcionarían un 0'05 por 100 de ácido clorhídrico o de hidróxido sódico, respectivamente, añadidos a la mezcla resina-disolvente.

Para poner de manifiesto el posible carácter ácido o básico (un álcali es una base, químicamente hablando), basta con agitar una muestra del barniz con doble cantidad de agua, separar luego dicha agua del barniz y ver si presenta coloración al tornasol.

El tornasol es un colorante orgánico que se colorea en rojo o azul en contacto con un ácido o una base, respectivamente. Si el agua se enrojece es que el barniz tiene caracter ácido. Si, por lo contrario, el agua adquiere coloración azul, será evidente señal de que el barniz tiene una cierta alcalinidad.

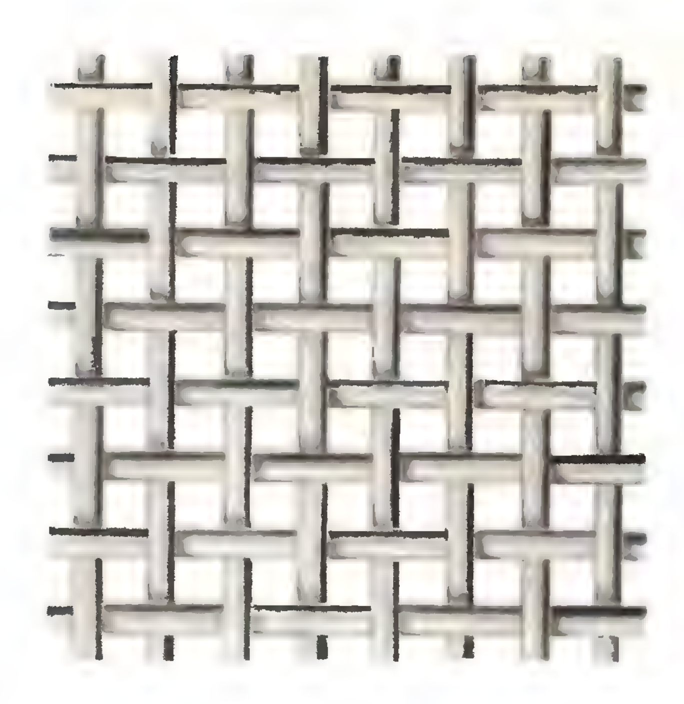
En el caso concreto de los hilos de cobre esmaltados, es evidente que el barniz no deberá atacar el cable; un mal barniz demasiado ácido dará una coloración verdosa al cobre que se delatará por transparencia.

Actividad mutua con aceite para transformadores

Es importantísimo que los barnices destinados a cubrir los hilos de los devanados de los transformadores inmersos en baño de aceite no ejerzan acción alguna en el aceite, ni éste sobre aquéllos.

La comprobación de esta propiedad es muy directa.

Se disponen dos recipientes con aceite de transformador y en uno de ellos se sumerge una muestra del hilo esmaltado que deba emplearse en los devanados. Ambos recipientes se mantienen durante 48 horas a la temperatura de 100-105°.



Malla para la retención de impurezas en el ensayo de barnices. (Ampliado 100 veces.)

Después de este período de tiempo no debe haber ninguna diferencia entre el hilo barnizado sumergido y el mismo hilo sin sumergir, así como entre el aceite que ha recibido el hilo barnizado y el que no lo ha recibido.

Tensión de perforación

La tensión necesaria para perforar una capa de barniz de una centésima de milímetro de espesor no debe ser inferior a las que se especifican en la tabla de la página 13.

Estas tensiones de perforación están referidas a una temperatura de 20° C. Se comprende que al aumentar la temperatura disminuya la tensión necesaria para perforar el aislante.

Para proceder al ensayo del valor de la tensión de perforación de un barniz se disponen dos barras metálicas que actúan de electrodos, entre las cuales se coloca una placa de cobre de 0'1 a 0'15 mm de espesor, barnizada por inmersión hasta conseguir en ambas caras un espesor de barniz de 0'05 mm. Este espesor se conoce utilizando un micrómetro de precisión.

La presión que ejerzan los electrodos sobre la muestra no será superior a 1 Kg; su diámetro no excederá de 50 mm.

Se aplica a los electrodos una tensión alterna creciente de 50 Hz hasta que se produzca la perforación. Es conveniente repetir el ensayo unas

diez veces y hallar luego un valor medio por suma aritmética:

$$V_p = \frac{V_1 + V_2 + V_3 \ldots\ldots + V_{10}}{10}$$

Pueden ensayarse tensiones de perforación en condiciones diversas (aire caliente, humedad, aceites, etc.) disponiendo la muestra en el interior de una cámara donde existan tales condiciones.

Tensión de perforación en voltios centésima de mm.	TIPO DE BARNIZ
150	Barniz de secado al aire (volátil)
500	Barniz graso de secado al aire
350	Barniz no graso de secado a estufa
750	Barniz graso de secado a estufa

Elasticidad y flexibilidad (envejecimiento)

Las pruebas llamadas de envejecimiento de un barniz se realizan comprobando el grado de elasticidad y flexibilidad del producto seco.

El ensayo se efectúa a partir de una lámina de cobre, recocida y enfriada lentamente para aumentar su flexibilidad, cuyo espesor es de 0'25 mm y cuyas dimensiones son 150 × 50 mm.

Esta plancha se barniza por una cara (la interior en la flexión) con un espesor de barniz de 0'15 mm, secado al aire o estufa.

La plancha así preparada se dispone en un aparato especial, cuyo dibujo adjuntamos, que permite provocar flexiones de 180°, alrededor de un cilindro de 12 mm de diámetro si se trata de ensayar barnices grasos de secado al aire, y de 3 mm si los barnices son de secado a la estufa.

Se estipula que el número de flexiones que debe resistir un barniz sin agrietarse debe ser:

15 flexiones para barnices con secado al aire.

20 flexiones para barnices con secado a la estufa.

Después de efectuar el número de flexiones exigidas se observa la superficie barnizada con una lupa para comprobar si hay o no grietas en el barniz.



Aparato para verificar el grado de envejecimiento de un barniz.

ACEITES AISLANTES

Los aceites aislantes que se emplean actualmente se extraen por destilación fraccionada del petróleo de diversas procedencias.

En electricidad encontramos tres utilidades fundamentales del aceite, en función de su poder aislante:

a) Para cables, como impregnador de los diversos recubrimientos aislantes que puedan pro-

tegerlos. En este sentido los aceites deben ser químicamente neutros, incapaces de atacar el metal conductor o sus protecciones aislantes. Deben tener suficiente fluidez como para que la impregnación sea completa y deben poseer un alto poder dieléctrico, invariable ante cambios de temperatura y ante el envejecimiento del aceite.

b) Para interruptores, como aislante de las partes metálicas que establecen los contactos en los interruptores para altas tensiones. En ellos es especialmente útil para eliminar el arco voltaico debido a la extracorriente de ruptura.

Para esta aplicación, los aceites deben ofrecer gran resistencia a la formación del arco voltaico, gran pureza para evitar la formación de depósitos carbonosos y gases y suficiente fluidez para que su acción no presente diferencias ante los cambios de la temperatura ambiente.

c) Para transformadores. El aceite empleado en transformadores aísla los arrollamientos impidiendo la formación de arcos que destruirían los devanados; y además actúa de vehículo para que el calor que se produce por efecto Joule y por corrientes de Foucault pueda irradiarse al exterior. Es decir: el aceite en que quedan inmersos los devanados y el núcleo del transformador actúa de aislante y de refrigerante.

Para que un aceite pueda cumplir con estas funciones debe poseer una fluidez manifiesta, capaz de permitir las corrientes líquidas que, por convección, produce el calor que desprende el transformador.

El aceite adecuado será el que, cumpliendo con la anterior propiedad, tampoco sea demasiado fluido para evaporarse con rapidez.

El aceite para transformadores debe tener alta rigidez dieléctrica, capaz de proporcionar el aislamiento necesario a las bobinas durante el funcionamiento del aparato. Esta condición exige gran pureza y total ausencia de humedad.

También debe tener un punto de congelación muy bajo para conservar su fluidez a bajas temperaturas. Debe tenerse en cuenta que cuando el punto de congelación disminuye, baja también el de inflamación, causa por la cual tampoco deberemos exagerar esta propiedad para no caer en el defecto de obtener un aceite cuyo punto de inflamación esté cerca de los 50°, temperatura de trabajo que fácilmente puede alcanzar el transformador.

ENSAYO DE LOS ACEITES

De forma similar a la descrita para los barnices, la calidad de un aceite, y por ende sus posibilidades de aplicación para determinadas funciones, debe verificarse por medio de distintos ensayos.

Los puntos clave a determinar en un aceite, y que fácilmente se deducen del apartado que precede, son:

Su *punto de inflamación* y de *combustión*.

Su *viscosidad*, que a 50° C no debe sobrepasar 2'5 poises.

La *temperatura de congelación y de fusión*. Se acepta como buena cuando no rebasa los —5° C.

El *grado de humedad*, que debe ser prácticamente nulo. La deshidratación de un aceite puede llevarse a cabo por sistemas químicos o físicos.

Su *poder aislante*, que se determina con un ensayo análogo al descrito para los barnices.

PRODUCTOS SUSTITUTIVOS DE LOS ACEITES

Los aceites sometidos a la acción de un arco eléctrico desprenden hidrógeno e hidrocarburos volátiles que forman mezclas detonantes en contacto con el aire. Éste es un peligro de explosión e incendio, que se ha intentado eliminar buscando productos aptos para sustituir al aceite, en sus aplicaciones eléctricas, que ofrezcan la garantía de ser antidetonantes.

La búsqueda de estos sustitutivos obedece también al temor a las dificultades que puede representar una escasez de petróleo motivada por cualquier causa anormal.

Los principales productos sustitutivos de los aceites son:

Cloruros de naftaleno.
Cloruros de difenilo.
Pirazoles.
Alcolina.
Naftalinas cloradas o aubanitas.

Los dos primeros productos son poco usados, debido a que el primero desprende cloro (gas altamente nocivo) y a que el segundo tiene un punto de congelación muy elevado; cinco grados.

El pirazol se utiliza en los transformadores en que es obligatoria la condición de eliminar totalmente el peligro de una detonación o de una combustión. Tal es el caso de los transformadores para minas y salas de espectáculos, por ejemplo.

En este caso, el transformador debe ser de construcción especial, puesto que el pirazol ataca algunos de los materiales empleados para los transformadores normales. Esto quiere decir que nunca podrá sustituirse el aceite de un transformador normal por el pirazol.

La alcolina y naftalinas cloradas son buenos sustitutivos del aceite aislante, y ambos productos ofrecen más ventajas como sustancias impregnadoras. Su uso queda sólo restringido por la poca disponibilidad del mercado, y en consecuencia por su elevado precio.

* * * * *

APENDICE



FICHAS TECNICAS 17



ELECTRICIDAD

I

MAQUINAS ELECTRICAS

LEYENDA	SIMBOLO — UNIPOLAR	SIMBOLO — BIPOLAR	ESQUEMA
Transformadores con arrollamientos separados.			
Transformadores en conexión diferencial.			
Transformador monofásico, 1000 KVA, $16^2/_3$ p.p.s. 6000/400 V.	6000, 1000, $16^2/_3$, 400	6000, 1000, $16^2/_3$, 400	6000, 1000, $16^2/_3$, 400
Transformador monofásico con conductor neutro, 1000 KVA, $16^2/_3$ p.p.s. 6000/400 V.	6000, 1000, $16^2/_3$, 400	6000, 1000, $16^2/_3$, 400	6000, 1000, $16^2/_3$, 400
Transformador bifásico conexión encadenada, abierto, 100 KVA, 50 p.p.s. 15000/231 V.	15000, 100, 50, 231	15000, 100, 50, 231	15000, 100, 50, 231
Transformador trifásico. Grupo conexión C_3 con borne neutro, 50 KVA. 50 p.p.s. 15000/400 V.	15000, 50, 50, C_3, 400	15000, 50, 50, C_3, 400	15000, 50, 50, C_3, 400

FICHAS TECNICAS 18

MAQUINAS ELECTRICAS



ELECTRICIDAD

II

LEYENDA	SIMBOLO UNIPOLAR	SIMBOLO BIPOLAR	ESQUEMA
Transformador trifásico conexión △ 1000 KVA. 15000/400V 50 p.p.s.	15000 / 1000 / 50 / 400	15000 / 1000 / 50 / 400	15000 / 1000 / 50 / 400
Transformador monofásico en conexión diferencial 2000 KVA. 50 p.p.s. 6000/5000 V.	6000 / 2000 / 50 / 5000	6000 / 50 / 5000	6000 / 2000 / 50 / 5000
Transformador trifásico en conexión diferencial. Conexión Y 1000 KVA. 50 p.p.s. 6000/5000 V.	6000 / 1000 / 50 / 5000	6000 / 1000 / 50 / 5000	6000 / 1000 / 50 / 5000
Transformador regulable. a) regulador de inducción. b) regulador escalonado.			a / b
Transformador monofásico. Un poco puesto a tierra. 100 KVA. 50 p.p.s. 6000/1000000 V.	6000 / 100 / 50 / 100000	6000 / 100 / 50 / 100000	6000 / 100 / 50 / 100000
Transformador trifásico grupo conexión C_2. 6000 KVA. 50 p.p.s. 6000/15000 V.	6000 / 6000 / 50 / C_2 / 15000	6000 / 6000 / 50 / C_2 / 15000	6000 / 6000 / 50 / C_2 / 15000

FICHAS TECNICAS 19



MAQUINAS ELECTRICAS

III

LEYENDA	SIMBOLO UNIPOLAR	SIMBOLO BIPOLAR	ESQUEMA
Transformador regulable en conexión diferencial. a) regulador de inducción. b) transformador escalonado.			
Transformador monofásico con tres arrollamientos.			
Transformador trifásico con tres arrollamientos en conexión estrella.			
Bobina de reactancia trifásica regulable: a) para regulación progresiva. b) para regulación escalonada.			
		MULTIPOLAR	
Generador en general.	G		
Motor en general.	M		

FICHAS TECNICAS 20

AFHA

ELECTRICIDAD

IV

MAQUINAS ELECTRICAS

LEYENDA	SIMBOLO UNIPOLAR	SIMBOLO MULTIPOLAR	ESQUEMA
Motor y generador en general.	M G		
Generador o motor de corriente continua en general.	G — M —		
Motor de corriente alterna en general.	M ~		
Generador de c.c. en serie	G	G	
Generador de c.c. en derivación.	G	G	
Generador con excitación compuesta de c.c.	G	G	

FICHAS TECNICAS 21



ELECTRICIDAD



MAQUINAS ELECTRICAS

LEYENDA	SIMBOLO UNIPOLAR	SIMBOLO MULTIPOLAR	ESQUEMA
Generador con divisor de tensión.	G	Igual que el unipolar	
Motor de colector de c.a. en general.	M ~	»	
Motor monofásico en serie.	M 1 ~	M 1 ~	
Alternador sincrónico monofásico.	G 1 ~	G 1 ~	
Alternador sincrónico trifásico.	G 3 ~	G 3 ~	
Alternador sincrónico trifásico conectado en triángulo.	G △	G △	

FICHAS TECNICAS 22



ELECTRICIDAD

VI

MAQUINAS ELECTRICAS

LEYENDA	SIMBOLO UNIPOLAR	SIMBOLO MULTIPOLAR	ESQUEMA
Alternador sincrónico trifásico conectado en estrella.	G Y	G Y	
Alternador sincrónico trifásico con borne neutro.	3 G ~	3 G ~	
Motor asincrónico monofásico con inducido de anillos colectores.	1 M ~	1 M ~	
Motor asincrónico bifásico con inducido de anillos colectores.	2 M ~	2 M ~	
Motor asincrónico trifásico con inducido de anillos colectores.	3 M ~	3 M ~	
Motor asincrónico trifásico con inducido en cortocircuito.	3 M ~	3 M ~	

FICHAS TECNICAS 23

AFHA

ELECTRICIDAD

MAQUINAS ELECTRICAS

VII

LEYENDA	SIMBOLO UNIPOLAR	SIMBOLO MULTIPOLAR	ESQUEMA
Dos máquinas acopladas.		igual que el unipolar	
Alternador sincrónico con excitatriz acoplada.	G 3~	—	
Motor asincrónico trifásico con inducido de anillos colectores, acoplado con un generador de corriente continua.	M 3~ G	—	
Conmutatriz trifásica-continua de tres fases.	3~	3~	
Conmutatriz trifásica-continua hexafásica.	6~	6~	
Rectificador: a) en general.		—	

FICHAS TECNICAS 24



ELECTRICIDAD

MAQUINAS ELECTRICAS VIII

LEYENDA	SIMBOLO		ESQUEMA
	UNIPOLAR	MULTIPOLAR	
Rectificador: b) trifásico.	3 ~	3 ~	
c) hexafásico.	6 ~	6 ~	



electricidad
teorico-practica

Como complemento de la enseñanza propiamente eléctrica, este Método comprende una serie de materias de vital importancia para la formación del técnico en electricidad. Gracias a ello, permite capacitarse como técnico completo, de modo que sea capaz de planear y resolver la instalación eléctrica de una vivienda, así como reparar un aparato electrodoméstico o localizar cualquier avería en la parte eléctrica de un automóvil.

Estas materias se han agrupado en cinco apéndices repartidos a lo largo del Método, en forma de series de lecciones sobre temas concretos: Apéndice I - Taller Mecánico; Apéndice II - Conocimiento de Materiales; Apéndice III - Fichas Técnicas; Apéndice IV - Electrometría; Apéndice V - Soluciones-tipo.

La serie *Taller Mecánico* facilita al lector estudioso una idea perfecta de las características y posibilidades de todas las máquinas y herramientas que pueden necesitarse en un proceso de fabricación o reparación de las distintas piezas que forman parte de un aparato o máquina eléctrica. Este conocimiento de causa permite discutir con los expertos mecánicos en debida forma; comentar, rectificar, decidir, en una palabra, lo que conviene o no en un trabajo.

La serie *Conocimiento de Materiales* es una ayuda extra para el experto en Electricidad. El profesional necesita conocer las posibilidades de cada uno de los materiales que emplea en su labor; esta serie de lecciones le proporciona ese conocimiento y le permite usar cada uno de ellos en el lugar adecuado y en las mejores condiciones de rendimiento y utilidad.

La serie *Fichas Técnicas* es un elemento de consulta de primer orden. Contienen una serie de datos técnicos que suelen consultarse con frecuencia y que difícilmente se encuentran a mano en un taller ordinario. Constituyen una herramienta de trabajo práctica y útil.

La serie *Electrometría* aporta los datos indispensables para cálculos, medidas y referencias de utilidad durante la labor previa a realizar cuando se inicia el estudio de algún proyecto.

Finalmente, el apéndice correspondiente a la serie *Soluciones-tipo* aporta al técnico en Electricidad el fruto de la experiencia de auténticos expertos conocedores de los problemas prácticos de la profesión. La labor diaria demuestra que el profesional se enfrenta frecuentemente con problemas que se repiten una y otra vez... Disponer de antemano de la solución ahorra tiempo y esfuerzos, evita toda posibilidad de error e incrementa la productividad del operador. En definitiva, permite un mayor crédito y una sensación de seguridad en el profesional.

El Método, en su conjunto, es una garantía de eficacia. Pensado por expertos que han palpado las realidades de cada día en el taller, es fruto de la experiencia y el conocimiento de la técnica... y del hombre.

Con este Método aspiramos a proporcionar una verdadera carrera gracias a la cual sea posible situarse brillantemente en la vida como técnico en electricidad, capaz de ocupar un lugar destacado en cualquier nivel profesional que se elija. Este Método proporciona a la persona interesada una metodología que aporta conocimientos sólidos y *completos* sobre su profesión. El Plan de Estudios cubre una verdadera necesidad en el campo de la enseñanza de la Electricidad. Abarca una serie de disciplinas a cuál más importante dentro del campo profesional y técnico, permitiendo enfrentarse con éxito con todos los problemas profesionales: Electrotecnia, instalaciones, prácticas; oficina técnica, electrometría, taller mecánico; matemáticas, geometría; conocimiento de materiales...

A través de una metodología tan amplia y completa, es posible adquirir unos conocimientos suficientemente desarrollados sobre cada especialidad y de ese modo abordar todos los problemas que se presentan en la profesión.

Gracias a la orientación dada al método, éste facilita los medios para adquirir todos los conocimientos que necesita un técnico en electricidad *completo*: Instalaciones eléctricas; tracción; producción de energía eléctrica, transformación y transporte; líneas de alta y baja tensión; telecomunicación; refrigeración; luminotecnia; aparatos electrodomésticos; electricidad del automóvil...

En su conjunto, este Método responde a una orientación didáctica de última hora. Tanto su contenido como su exposición y desarrollo son lo último en materia de enseñanza. Todo lo que se puede explicar gráficamente halla su aclaración en dibujos, viñetas, esquemas, imágenes en negro y color. Los autores, asimismo, se han esmerado en proporcionar al alumno un texto ameno, claro, directo, que haga fácilmente comprensibles todas las teorías, todos los problemas. La profusión de ilustraciones sumamente explícitas, la clara exposición de las teorías en feliz conjunción con su demostración gráfica y la posibilidad de experimentar por sí mismo, convierten este Método en algo muy distinto a un libro de texto. Es una verdadera enciclopedia sobre electricidad que no tiene par en el mercado.

El método AFHA de

electricidad teórico-práctica

comprende los siguientes títulos:

- Tomo I — **Fundamentos de electrotecnia**
- Tomo II — **Electroquímica. Electromagnetismo. Instalaciones domésticas**
- Tomo III — **Corriente alterna. Principios de máquinas de c.c. y de c. a. Instalaciones industriales**
- Tomo IV — **Transformadores. Máquinas eléctricas de c.c. y c.a.**
- Tomo V — **Canalizaciones eléctricas. Líneas y centrales Telecomunicaciones alámbricas**
- Tomo VI — **Luminotecnia. Técnicas de la iluminación**
- Tomo VII — **Electricidad del automóvil**
- Tomo VIII — **Aparatos electrodomésticos**

